

# Couplages climatologiques entre bilan énergétique de surface et météorologie au Sahel

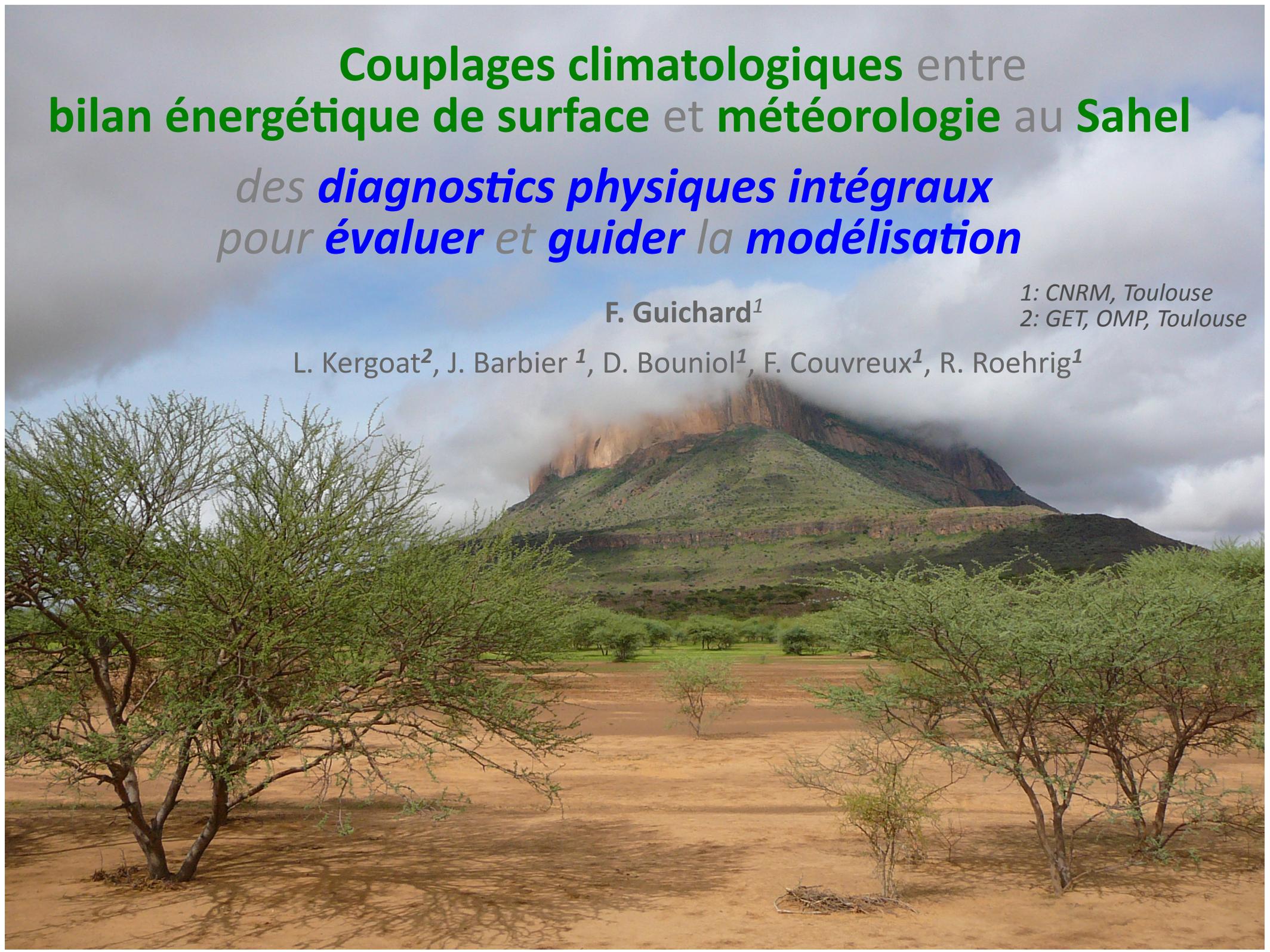
*des diagnostics physiques intégraux  
pour évaluer et guider la modélisation*

F. Guichard<sup>1</sup>

1: CNRM, Toulouse

2: GET, OMP, Toulouse

L. Kergoat<sup>2</sup>, J. Barbier<sup>1</sup>, D. Bouniol<sup>1</sup>, F. Couvreur<sup>1</sup>, R. Roehrig<sup>1</sup>



# Contexte Sahélien: Mousson, surface et basses couches atmosphériques



**Sahel:** Bande climatique semi-aride, 10-12°N à 18-20°N qui s'étend d'ouest sur le continent africain sous l'influence de la mousson

**Le flux de mousson se développe dans les basses couches atmosphériques (quelques centaines de m à quelques km) qui sont fortement contrôlées par le bilan énergétique à la surface**

Les processus de surface : éléments majeurs du climat et de la mousson ouest-africaine

**Charney (1975):** désertification, albedo de surface  $\nearrow$ , diminution des précipitations, subsidence  
boucle de rétroaction basée sur les changements du bilan énergétique local à la surface

**Gong & Eltahir (1996):** importance des gradients méridionaux de la thermodynamique  
des basses couches atmosphériques sur la circulation de mousson

L'existence de nombreux mécanismes opérant à des échelles spatio-temporelles distinctes est théoriquement possible (*paléo, interannuel, diurne, mésoéchelle...*)  
une difficulté majeure est d'identifier leur existence effective

Jusqu'à récemment, peu d'observations pour aborder ces questions ; approches de modélisation académiques, très utiles mais il est souvent délicat d'interpréter et d'évaluer les résultats obtenus de manière trop littérale, définitive.

Les observations récentes - projet AMMA, données satellites - permettent maintenant d'identifier de manière plus solide des mécanismes opérant effectivement au Sahel - et par suite aussi d'évaluer les modèles et de guider leurs développements.

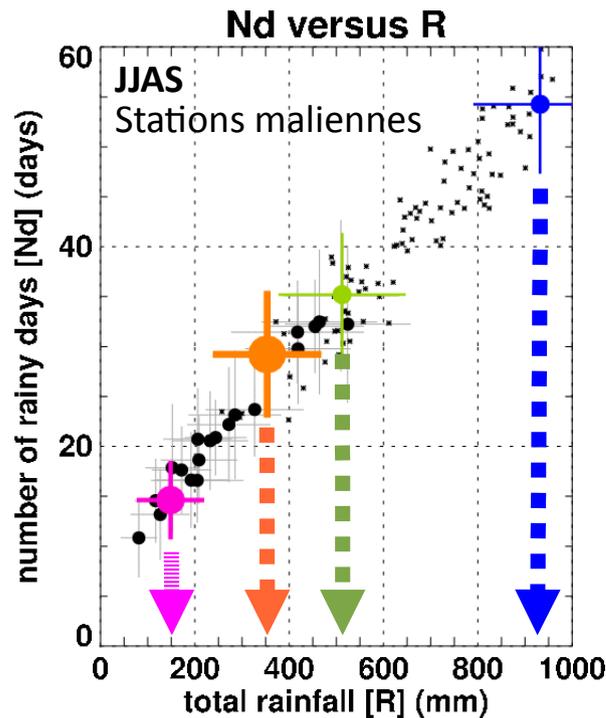
# Données sol : échantillonnage du gradient climatique méridien

Par les sites de l'observatoire AMMA-CATCH  
(Lebel et al. 2009)

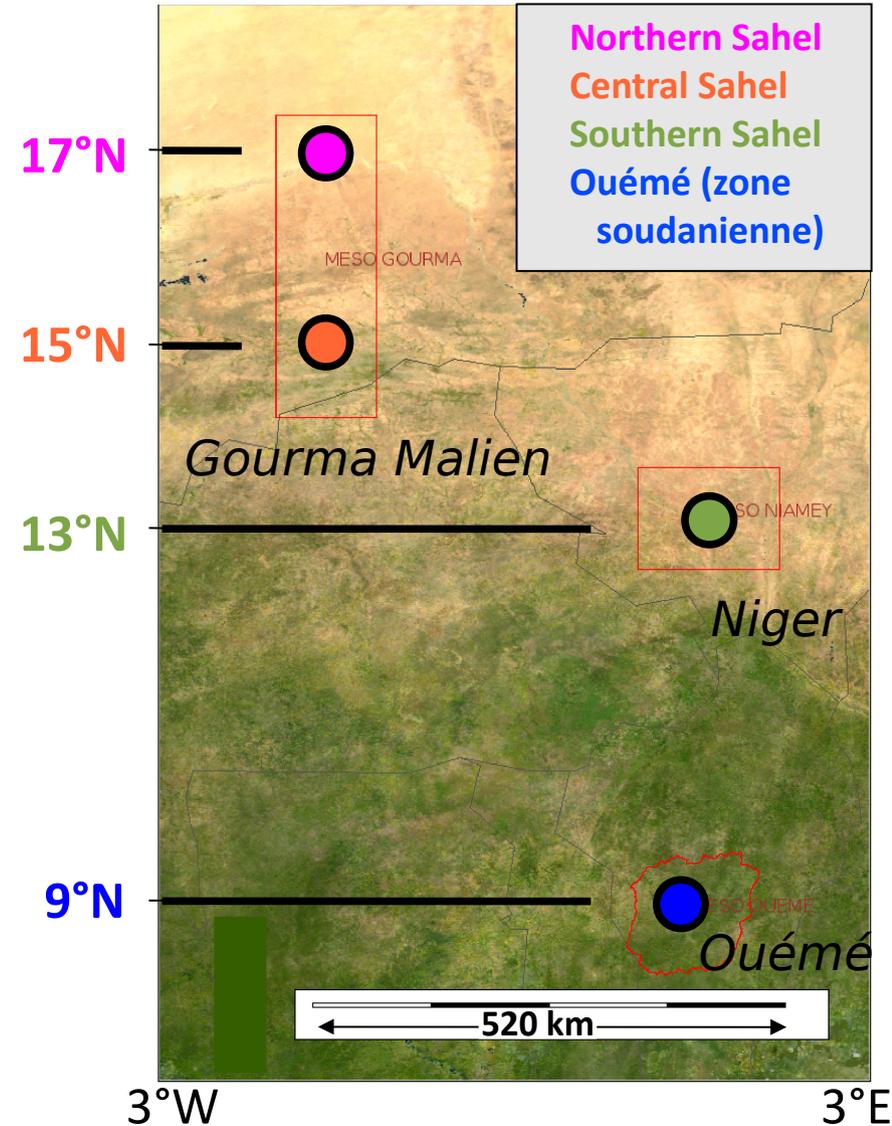
- ◆ *T, RH, vent, pression, précipitation*
  - ◆ *flux radiatifs, H, LE, G*
  - ◆ *T & hum sol, + autres variables hydro et vég*
- dt: 15 à 30 min , ~ 10 ans*

données GPS (Bock et al. 2008) *dt: 1h, qq années*

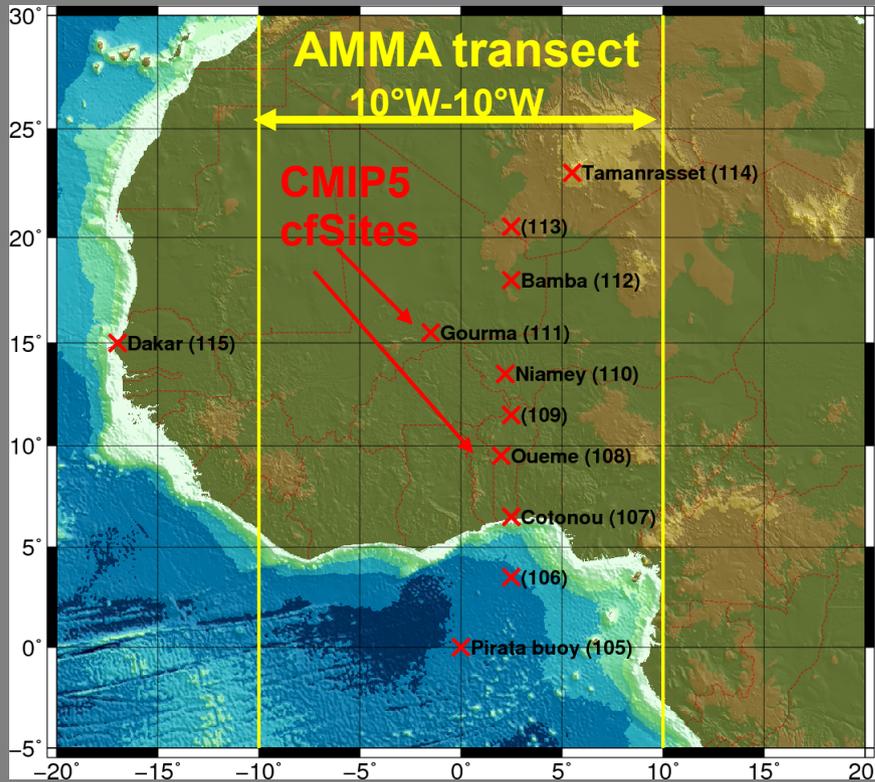
## PRECIPITATION



*Adapté de Frappart et al. (2008)*

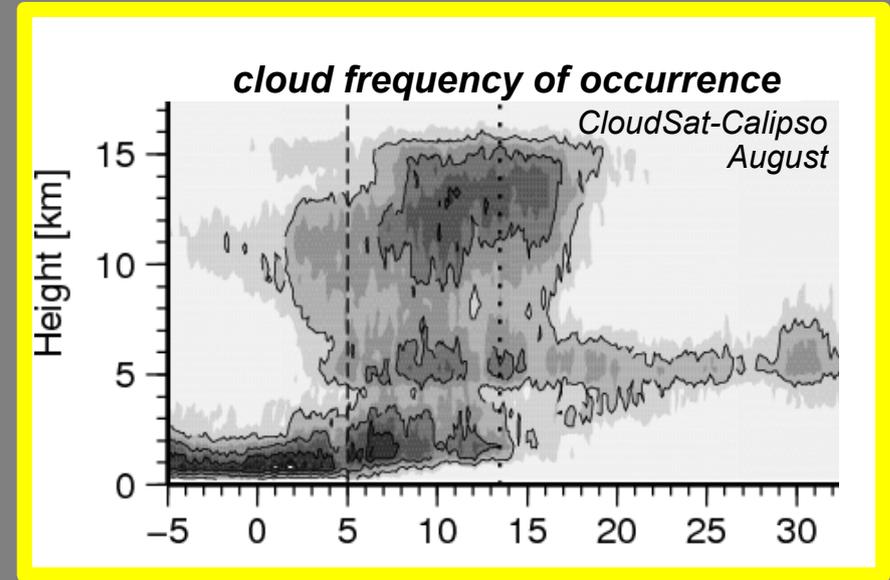


# Complémentarité du transect AMMA et des sites locaux (CMIP5 cfSites)



**AMMA TRANSECT:** take advantage of the large-scale climatological gradient

AMMA-MIP: Hourdin et al. (2010)



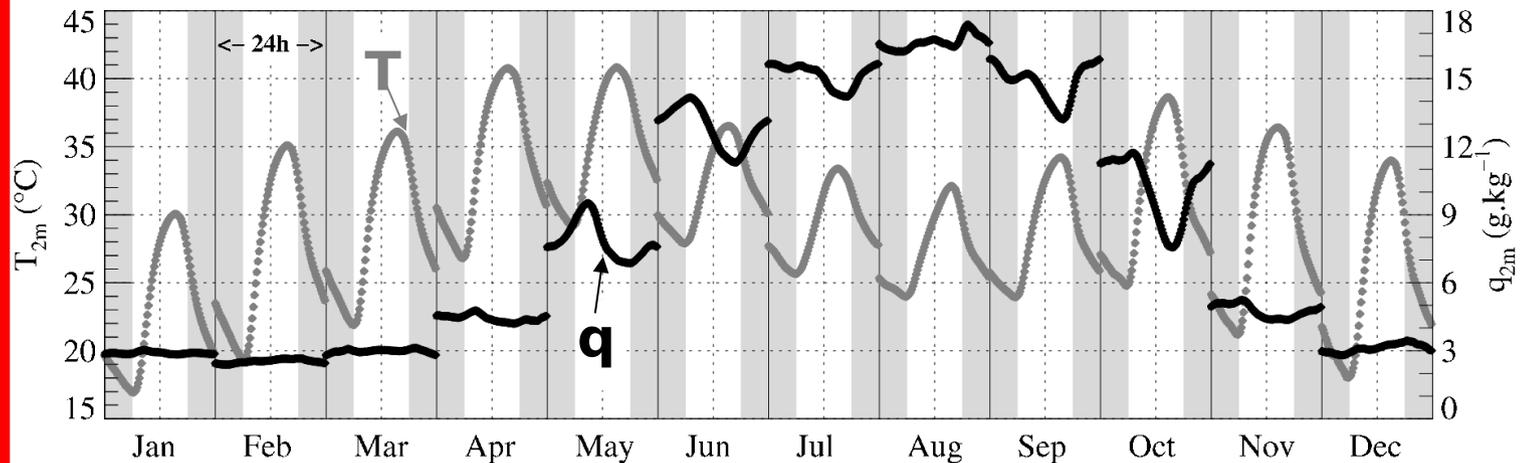
Bouniol et al. (2012)

## CMIP5 cfSites

- locations where ground data available
- sample the gradient
- high frequency long term observations (valuable e.g. for diurnal cycle)

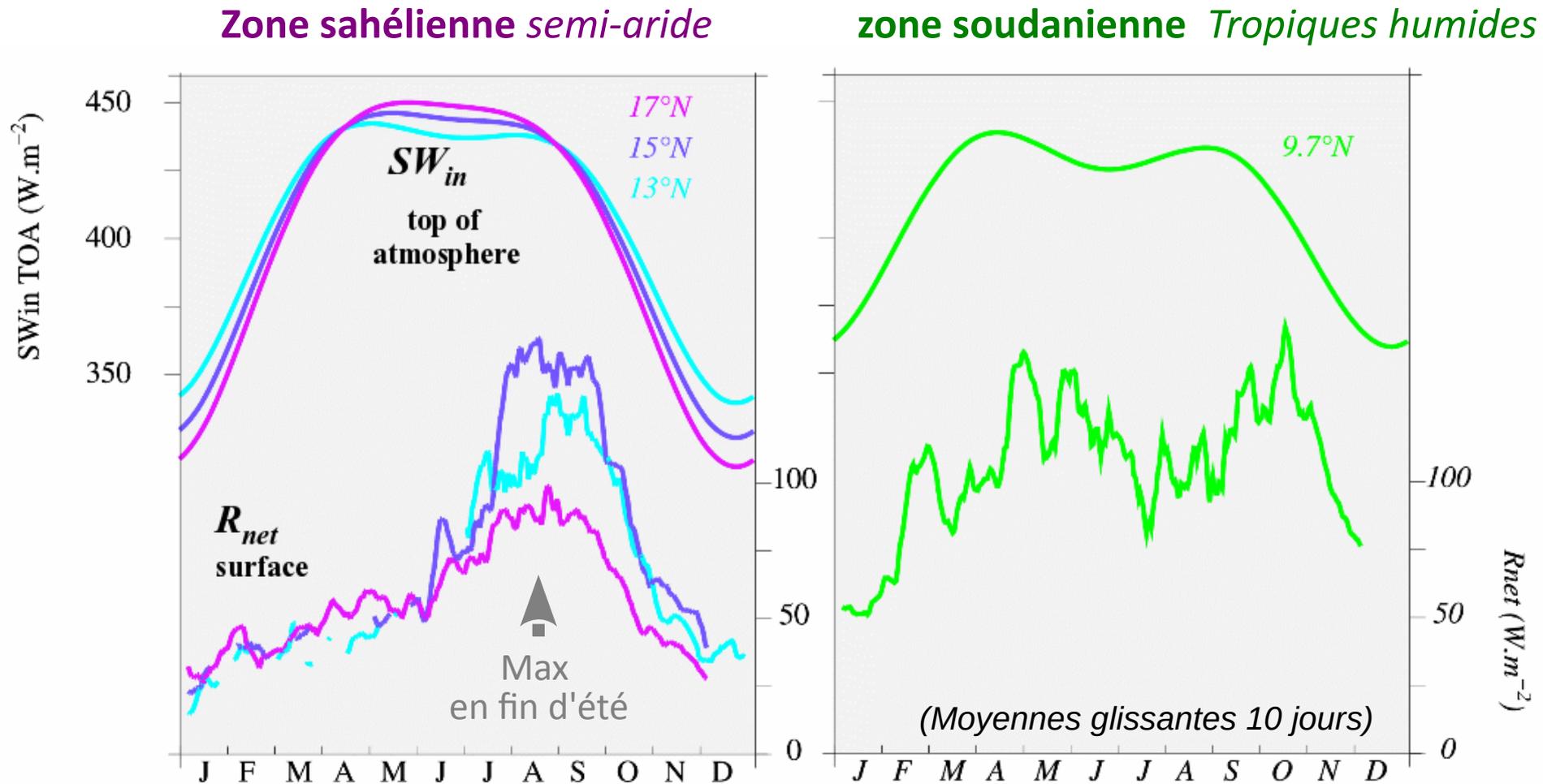
## Sfc meteo

$T_{2m}$ ,  $q_{2m}$ : monthly-mean diurnal cycles [Agoufou]



Guichard et al. (2009)

# OBSERVATIONS : CYCLE ANNUEL DU RAYONNEMENT A LA SURFACE



*Malgré l'importance accordée à ce bilan au Sahel, très peu analysé et utilisé pour évaluer la modélisation jusqu'à ces dernières années*

Un bilan énergétique qui fait intervenir toute une série de processus

A la surface : *T<sub>sol</sub>, humidité du sol et végétation*

Dans l'atmosphère : *vapeur d'eau, nuages et aérosols (poussières désertiques)*

Couplages entre bilans d'énergie et bilan d'eau (précipitation et vapeur d'eau)

De juin à septembre, l'augmentation de  $R^{net}$  est principalement pilotée par l'émission de la surface  $R^{up}$  (qui diminue)

$$R^{net} = R^{in} - R^{up}$$

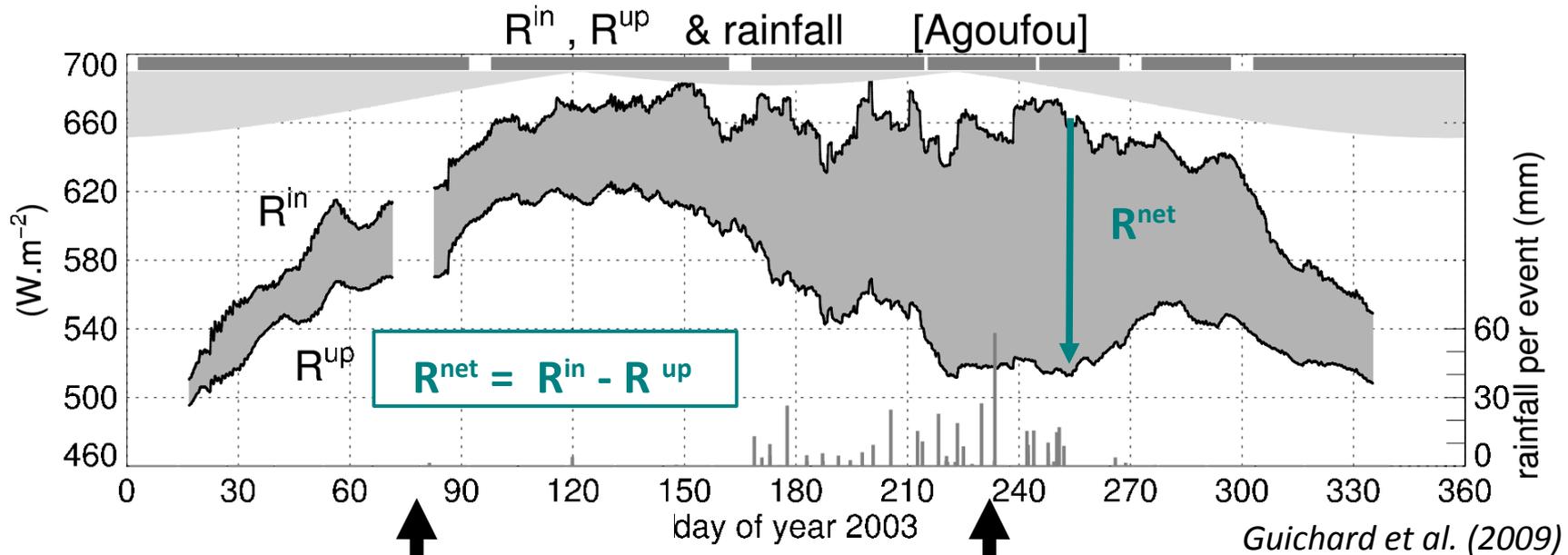


Photo V. Le Dantec



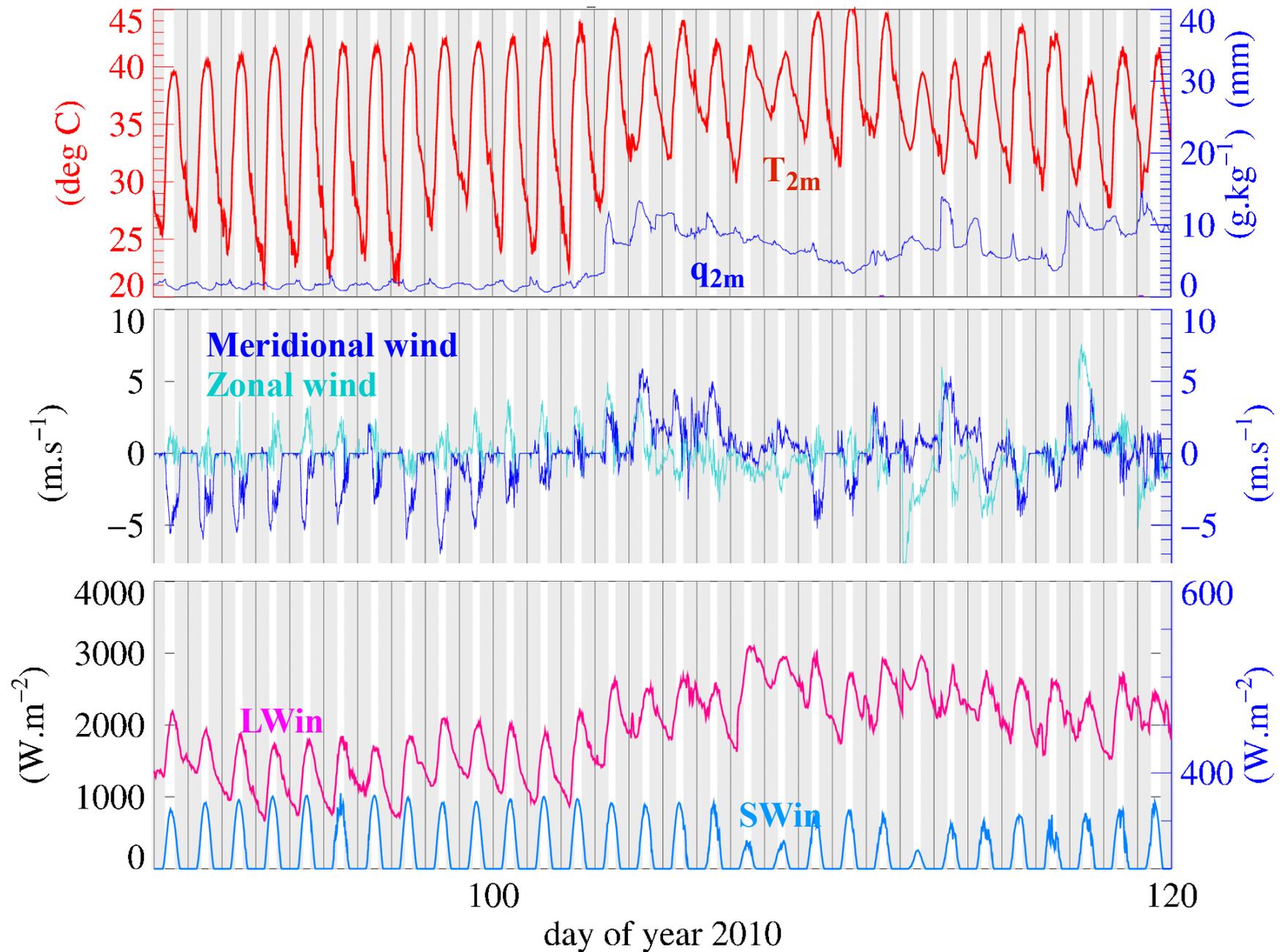
surface cooling

decrease of surface albedo  
(vegetation, Samain  
et al. JGR 2008)

$R^{in}$  (moyenne 10 jours) varie peu pendant la mousson (attention: l'impact radiatif des nuages & aérosols est non négligeable (SW incident JA: effet  $\sim 50 \text{ W/m}^2$ ,  $\sim 25\%$ )

Fortes similarités avec les sites sahéliens du Niger (Slingo et al. 2009, Ramier et al. 2009)

# Fluctuations temporelles couplées: exemple avril 2010



# OBSERVATIONS : Couplages entre flux radiatifs LW et thermodynamique

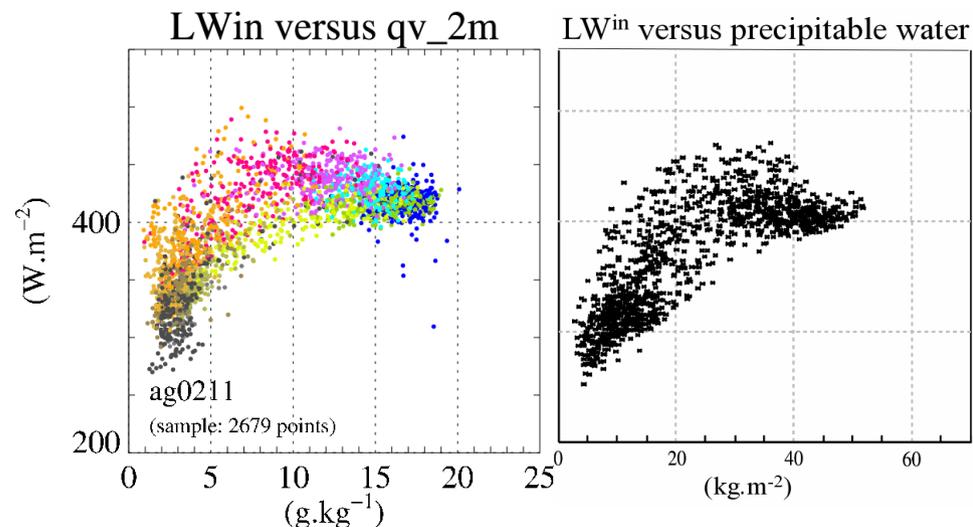
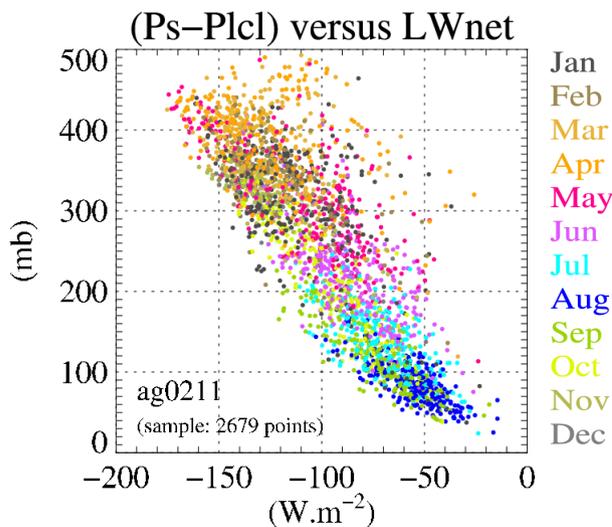
*LWup, LWdown, LWnet, RH, precipitable water et précipitation*

## Caractéristiques climatiques

Moyennes journalières (jan à dec)

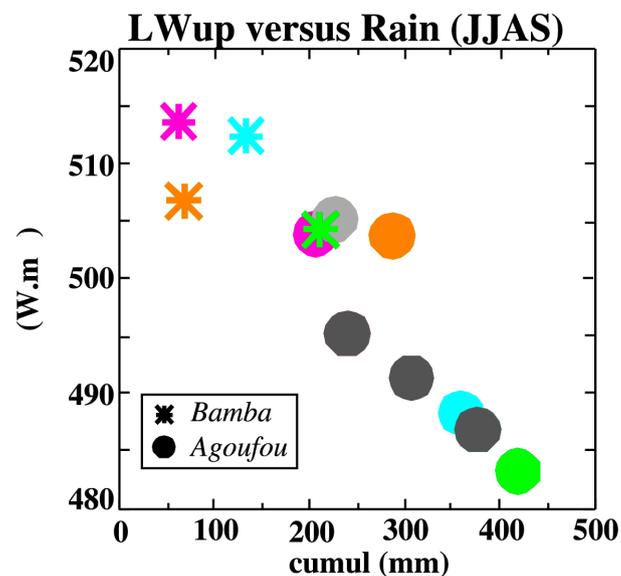
*LWnet*: indicateur du (dé)couplage entre surface et atmosphere

$P_{Icl} \sim RH_{2m}$



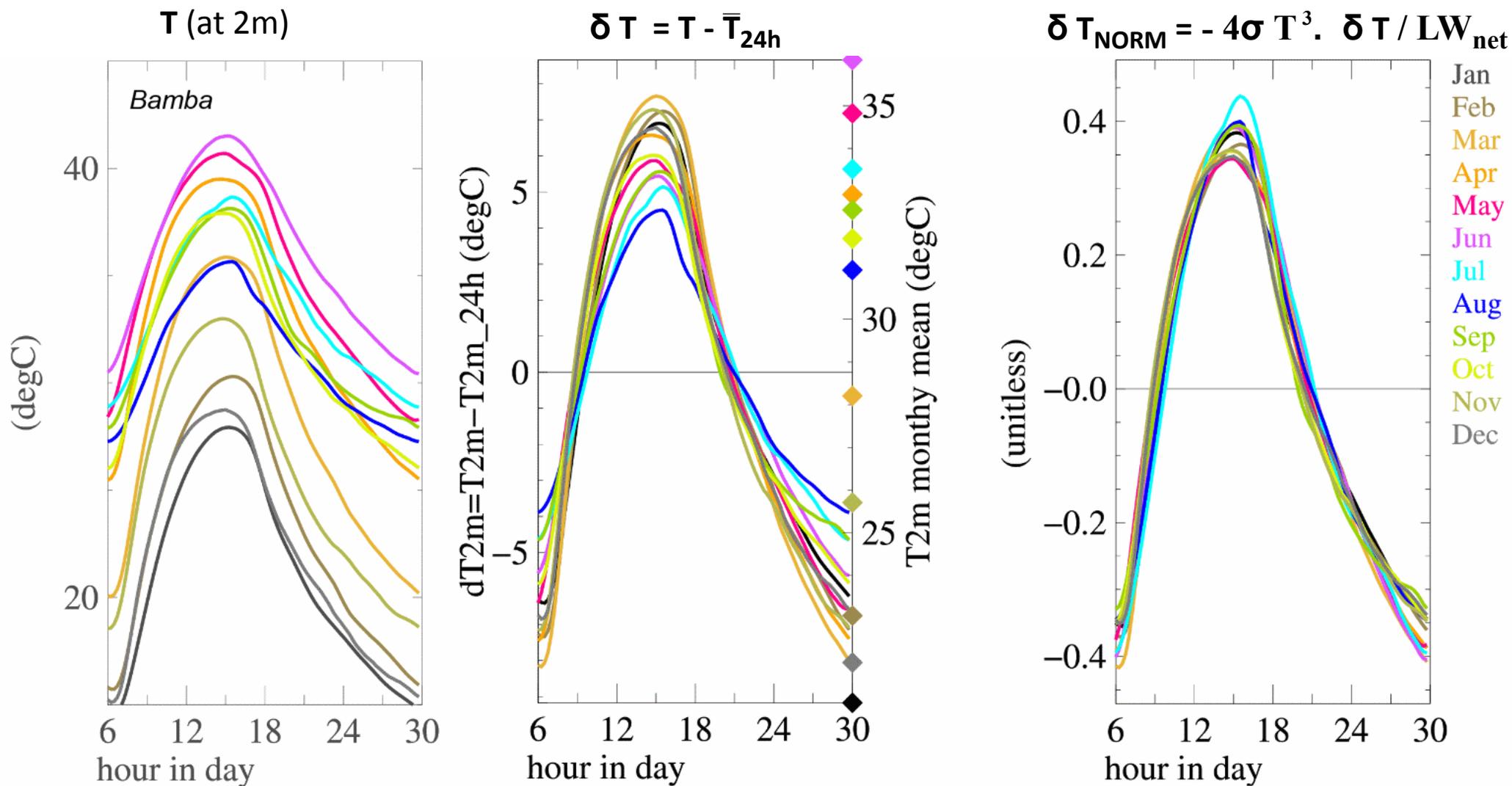
## Variabilité interannuelle pendant la période de mousson

*La variabilité interannuelle (courte) de Rnet est expliquée principalement par celle de LWup*



# OBSERVATIONS : Couplages entre flux radiatifs LW et thermodynamique

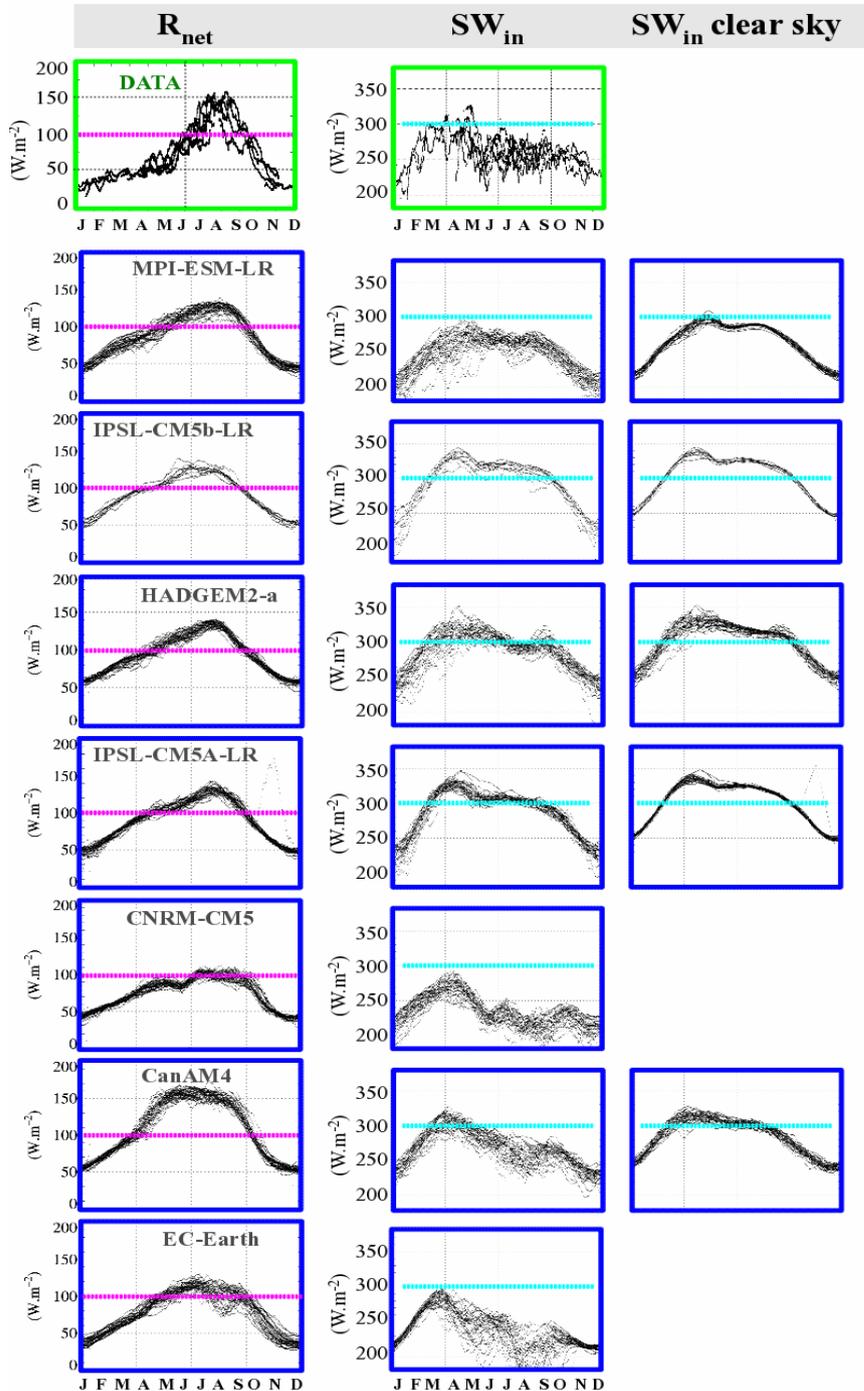
## *DTR (diurnal temperature range), LWnet*



$$DTR_{\text{Rad}} = -4\sigma T^3 / LW_{\text{net}}$$

(following Betts 2006)

# MODELES : Cycle annuel du rayonnement à la surface



## Simulations CMIP5 AMIP (~ 30 years)

*Exemple au Sahel, Point cfSite Agoufou*

- \*  $R_{net}$  : biais  $> 0$  ( $\sim 50 \text{ W/m}^2$ ) au printemps
- \* souvent plus de différences entre modèles et d'erreurs sur le flux solaire incident  $SW_{in}$  que sur  $R_{net}$
- \*  $R_{net} \sim \text{OK}$  ne signifie pas que les flux sensibles et latents soient corrects !  
(compensations d'erreurs)
- \* Des différences importantes même en ciel clair (expliqué principalement par le traitement des aerosols)

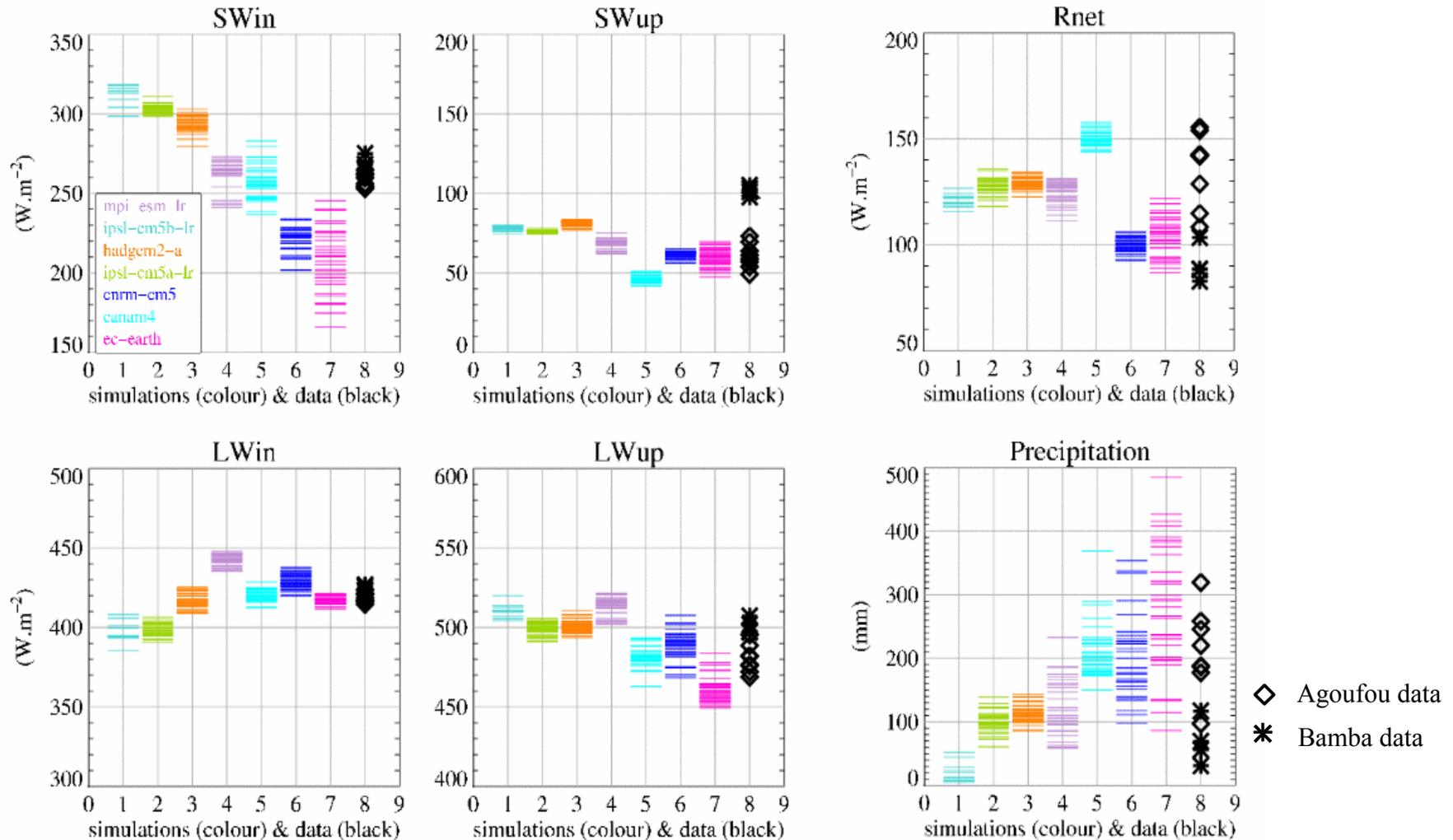
*De tels biais conduisent à des erreurs sur le bilan énergétique et probablement sur la convection simulée (force, fréquence...)*

*Des biais importants dans les réanalyses météo également*

Voir aussi Roehrig et al. (2013)

# MODELES : flux radiatifs pendant la mousson

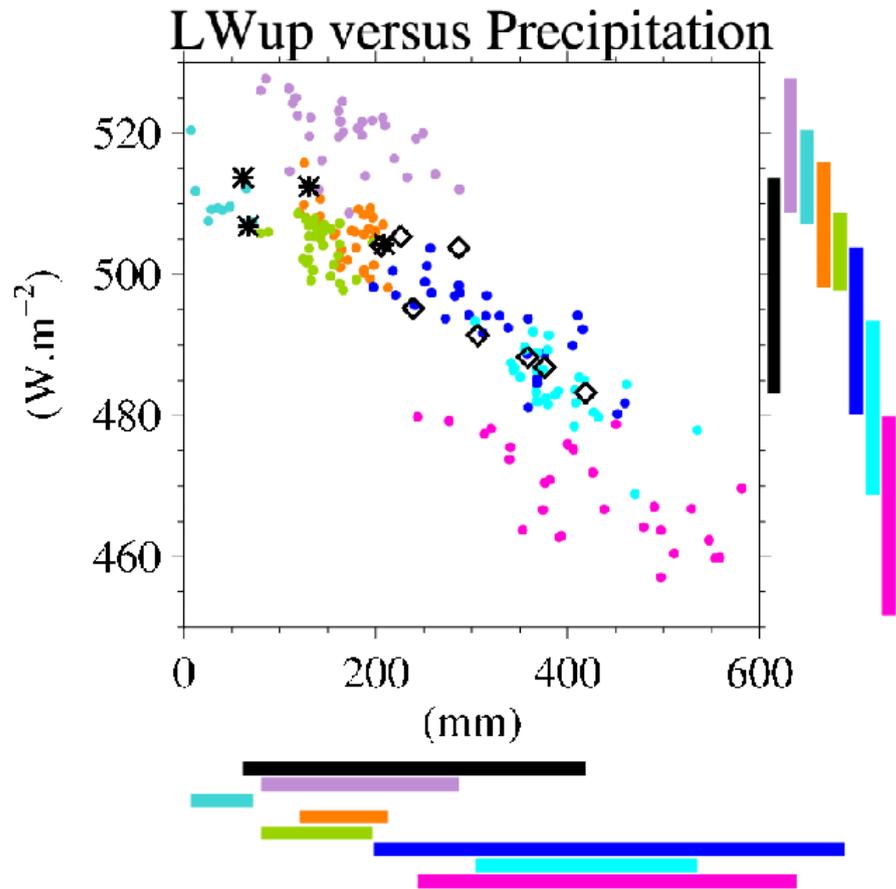
*Agoufou cfSites point, core monsoon (Jul-Aug average)*



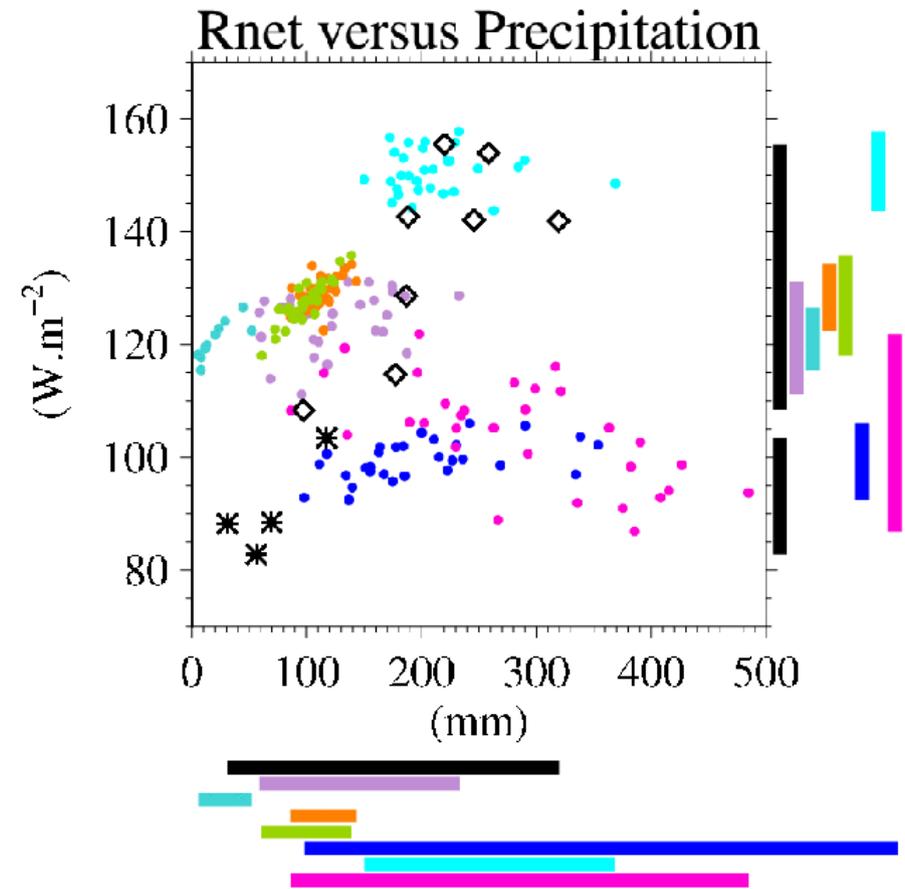
*(one tick=1 year, one color= one model, obs in black, 2 sites to sample range of precip amount and their differences in obs and models)*

# MODELES : Couplages flux radiatifs , précipitations

*Agoufou cfSites point, core monsoon (Jul-Aug average)*

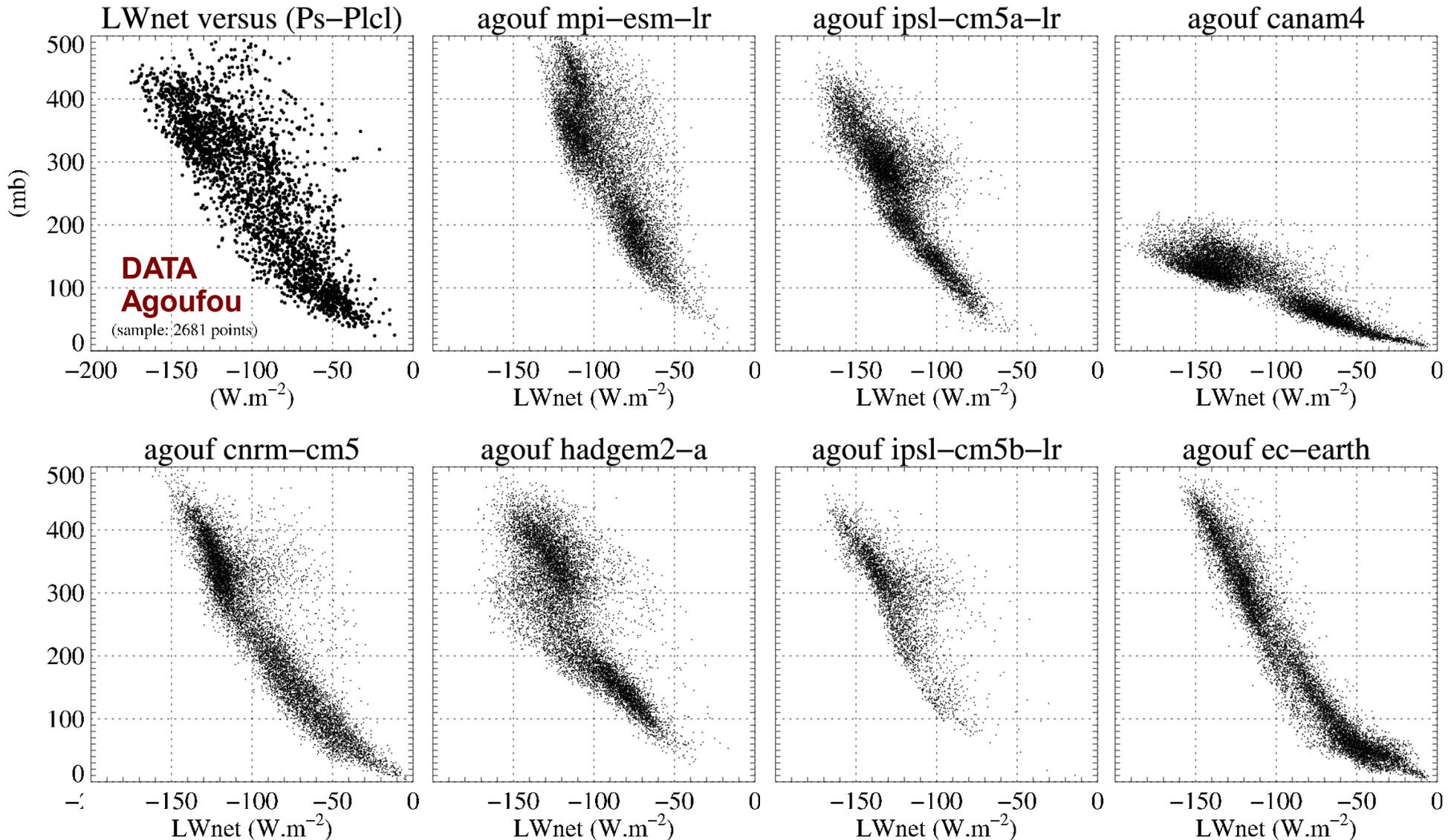


Spread among model in simulated LWup strongly related to précipitation spread



Beyond mean differences, most models do not simulate an increase of Rnet with precipitation

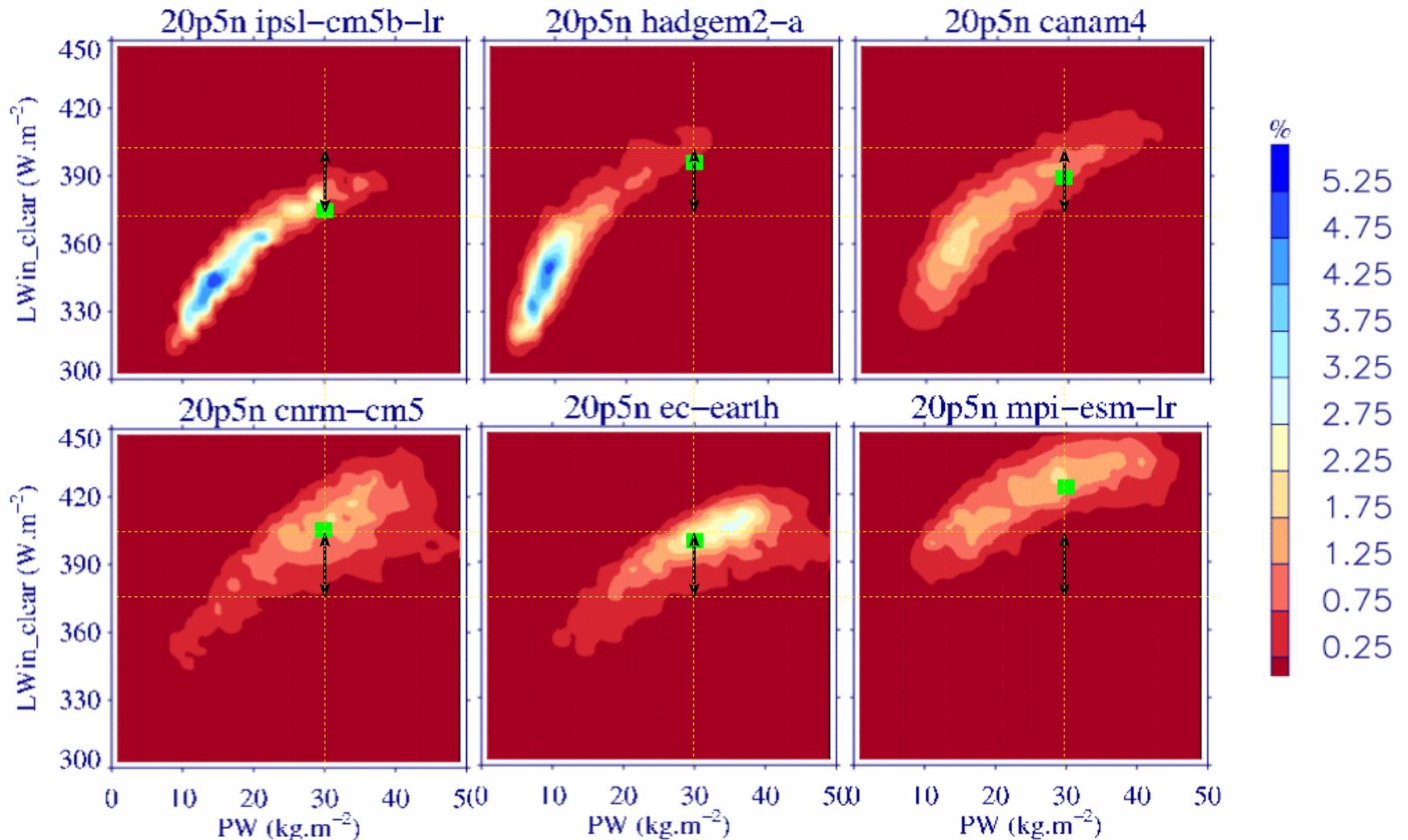
# MODELES : Couplages LW<sub>net</sub> , P<sub>lcl</sub>



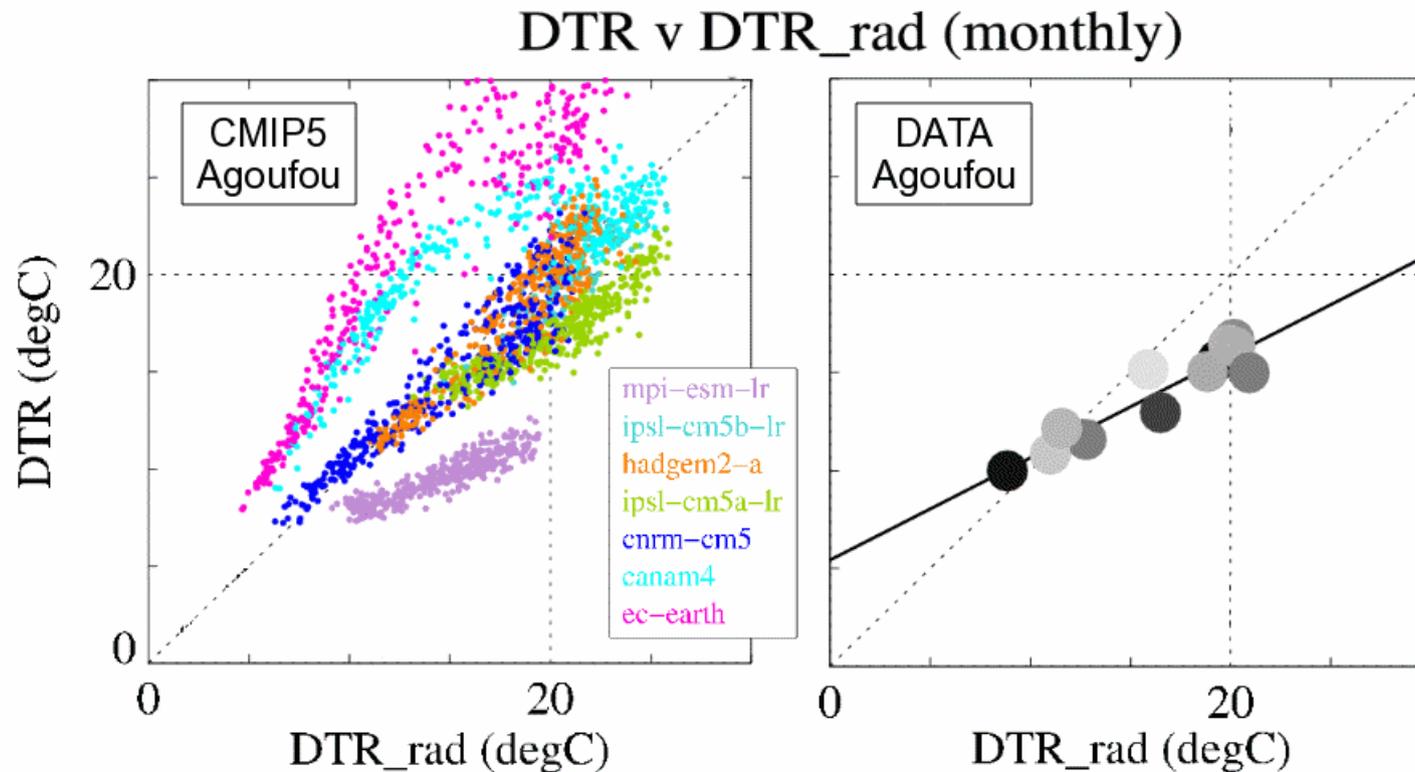
*des couplages dans les simulations CMIP5 comme dans les observations  
mais avec des différences quantitatives importantes  
conclusions similaires aux autres sites*

# MODELES : couplages $LW_{in}$ ciel clair , eau precipitable

Joint PDF (precipitable water, surface  $LW_{in}$  clear sky)  
CMIP5 amip runs (30 years), daily values at  $2^\circ E$ ,  $20.5^\circ N$



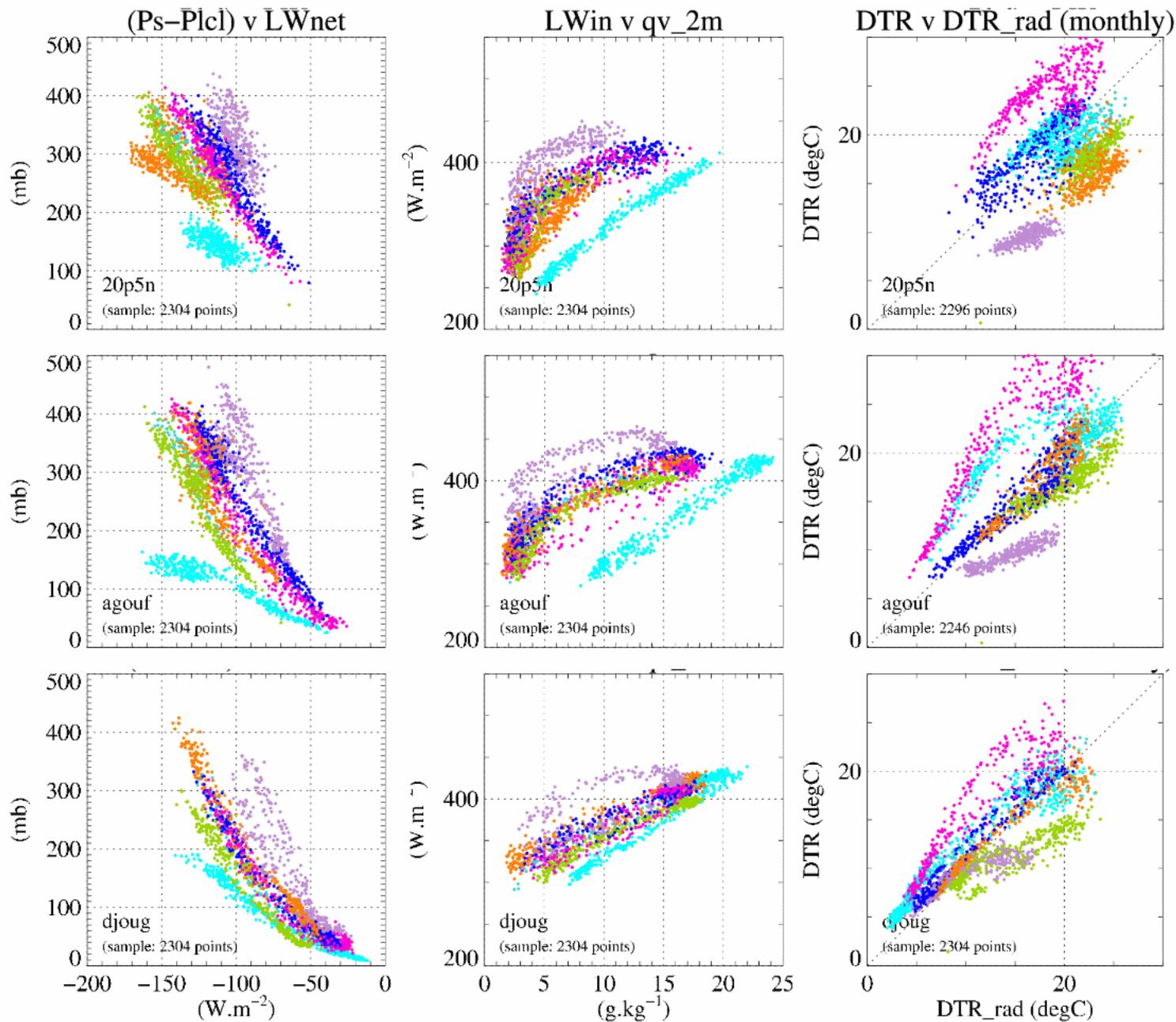
# MODELES: couplages DTR , LWnet



$$DTR_{\text{Rad}} = -4\sigma T^3 / LW_{\text{net}}$$

*Couplage (DTR, Lwnet) dans les simulations climatiques également  
Mais souvent trop fort (en terme de pente de la relation)*

# MODELES: couplages pour 3 sites distincts



Les différences entre modèles sont semblables d'un site à l'autre

# CONCLUSION

## Analyse processus des données à la surface au Sahel

(bilans d'énergie, flux radiatif, météo)

*Données à haute fréquence temporelle sur plusieurs années*

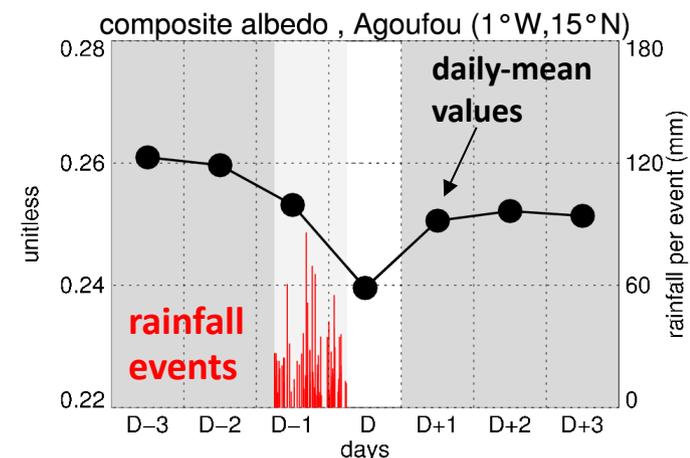
- \* Amplitude forte du cycle annuel du bilan d'énergie au Sahel, contribution de processus distincts suivant la saison
- \* Identification et quantification de couplages entre cycles de l'eau et de l'énergie (notamment via les couplages thermodynamique - flux rad LW)
- \* des éléments diagnostics pour évaluer et guider la modélisation

## Evaluation des simulations CMIP5 , des ré-eanalyses

- \* Erreurs très importantes sur les composants des flux radiative fluxes
- \* Dispersion de flux SW, même en ciel clair ( $> 25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  moyennes qq mois)
- \* Couplages dans les simulations comme dans les observation, mais accord qualitatif
- \* Les biais des flux simulés ne s'expliquent pas uniquement par les biais de precipitation (albedo, nuages, aérosols)

*Echelle synotique, composites bâtis à partir d'observation :  
e.g. autour des évènements de pluie  
(albedo, EF), Samain et al. (2008), Lohou et al. (2014)*

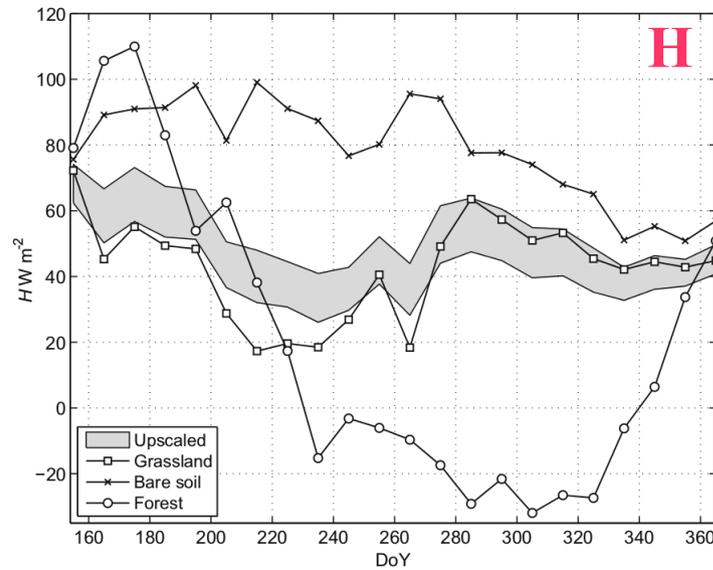
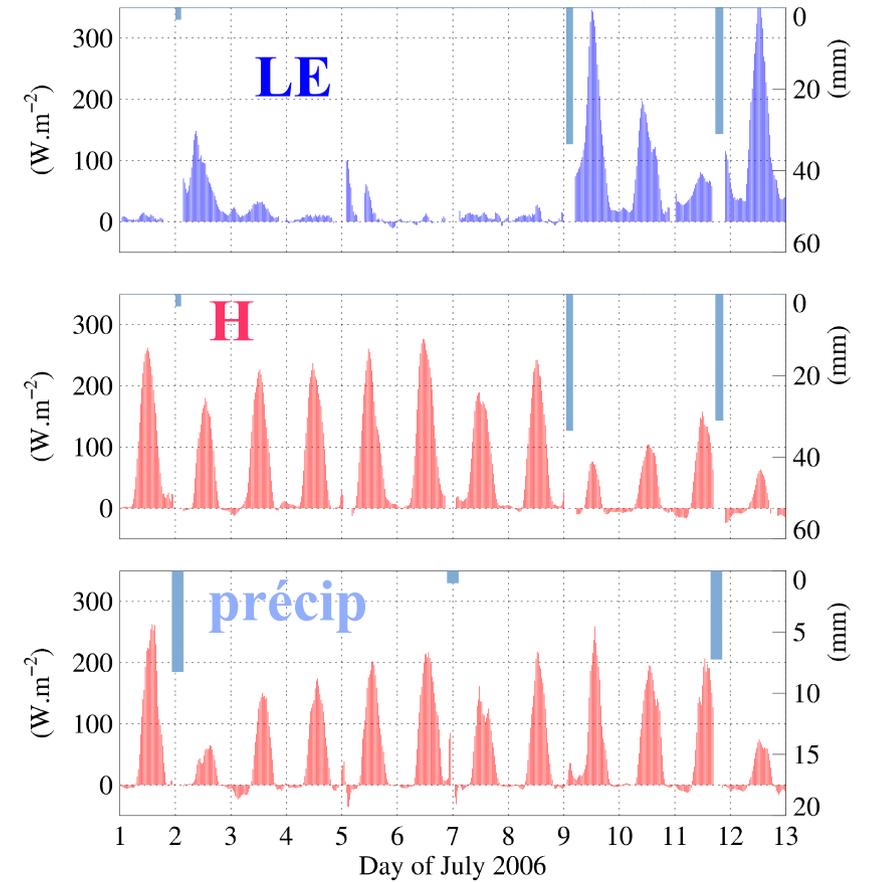
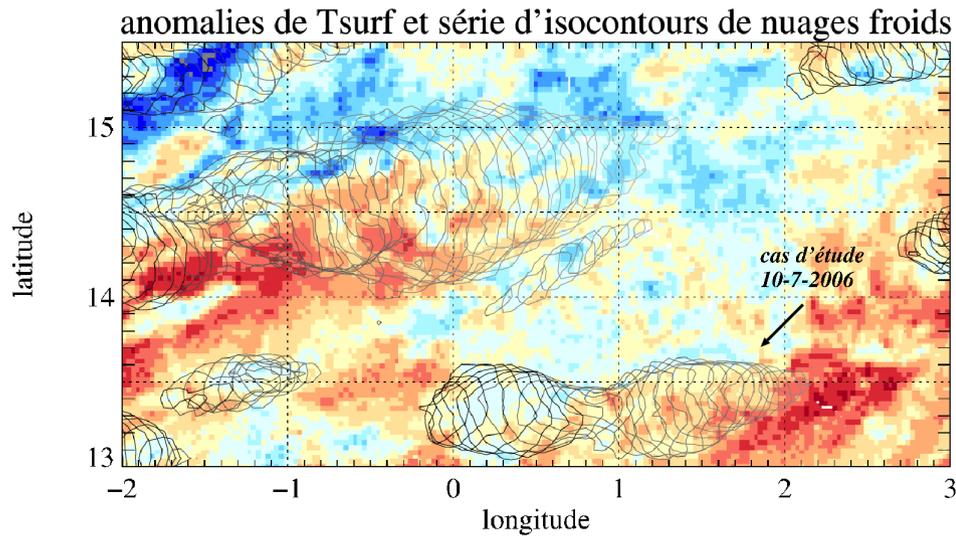
*Intérêt de ces types de diagnostics pour d'autres  
lieux, climats*



*adapted from Samain et al. (2008)*



# Documentation plus systématique de la variabilité méso-échelle



*Timouk et al. (2009)*

*Guichard et al. (2012)*