



Actions des surfaces sur l'atmosphère et les ressources hydriques et végétales :

Quelles évolutions au Sahel agropastoral ?

J. Demarty, B. Cappelaere, C. Léauthaud, C. Velluet, I. Mainassara, J.P. Chazarin, M. Oï, F. Arpin-Pont, B. A. Issoufou, J. Seghieri



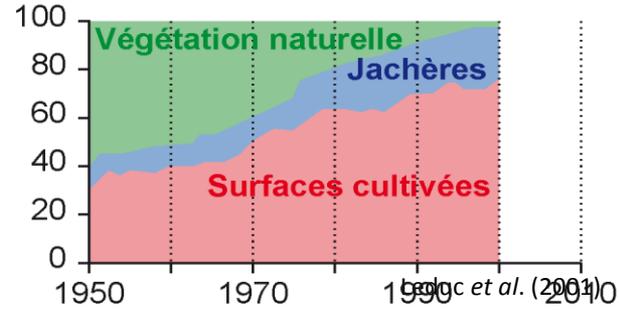
Enjeux sociétaux au Sahel Agropastoral

Un milieu sensible et particulièrement exposé aux changements climatiques et anthropiques

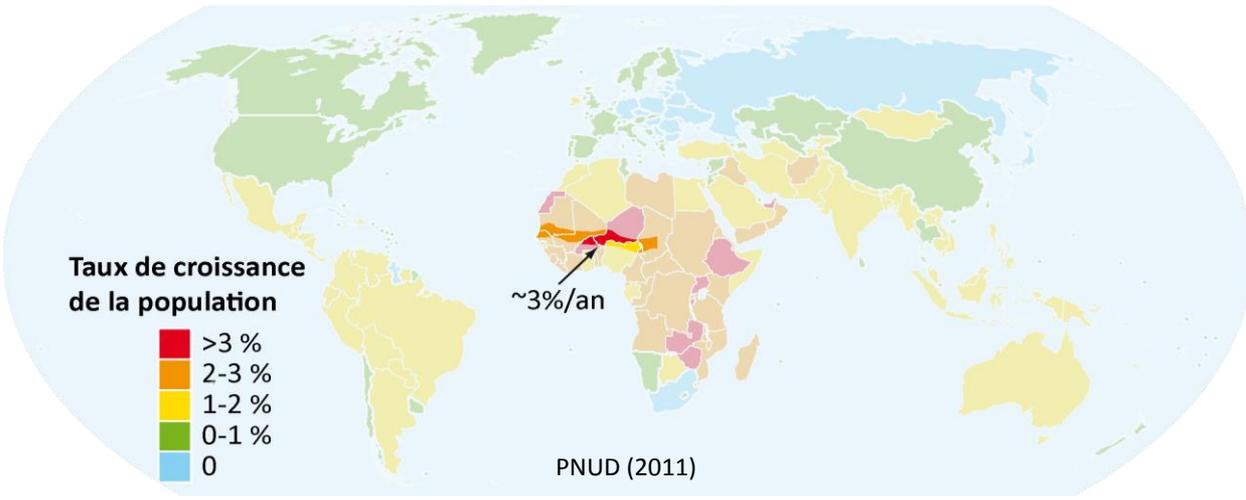
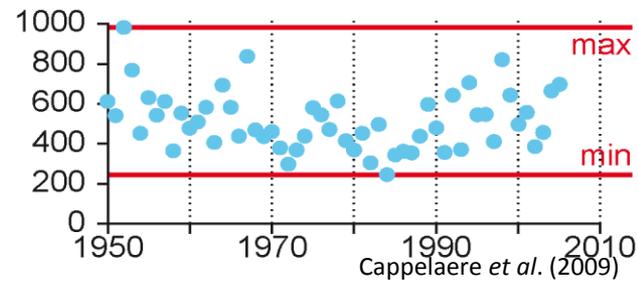
- Forte **croissance démographique**
- **Expansion des zones cultivées**
- **Variabilité climatique** marquée
- **Changement climatique** : température et stress hydrique ↑
- Forte **vulnérabilité** des populations aux aléas climatiques



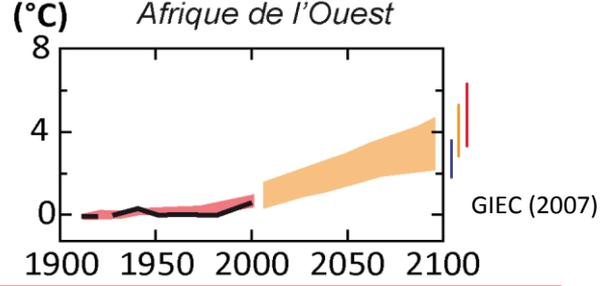
Couverture végétale (%) - Sud-Ouest Niger



Précipitations (mm) - Niamey (Niger)



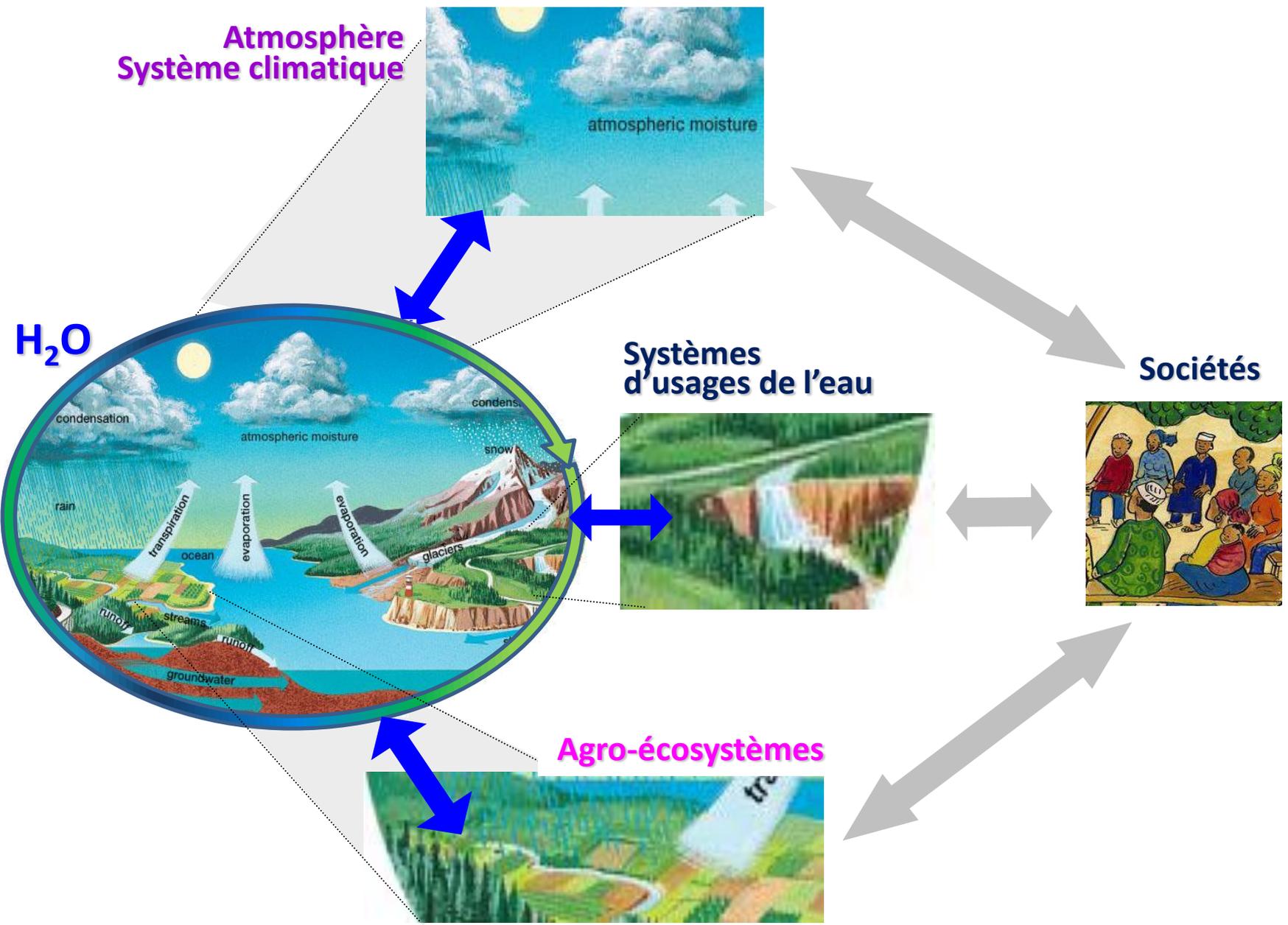
Prévision des températures



- Evolutions du climat local et des pratiques ?
- **Evolutions des ressources hydrologiques et végétales ?**

Evolutions des ressources hydrologiques et végétales au Sahel agropastoral ?

Rôle des surfaces continentales dans le cycle de l'eau et ses couplages



Evolutions des ressources hydrologiques et végétales au Sahel agropastoral ?

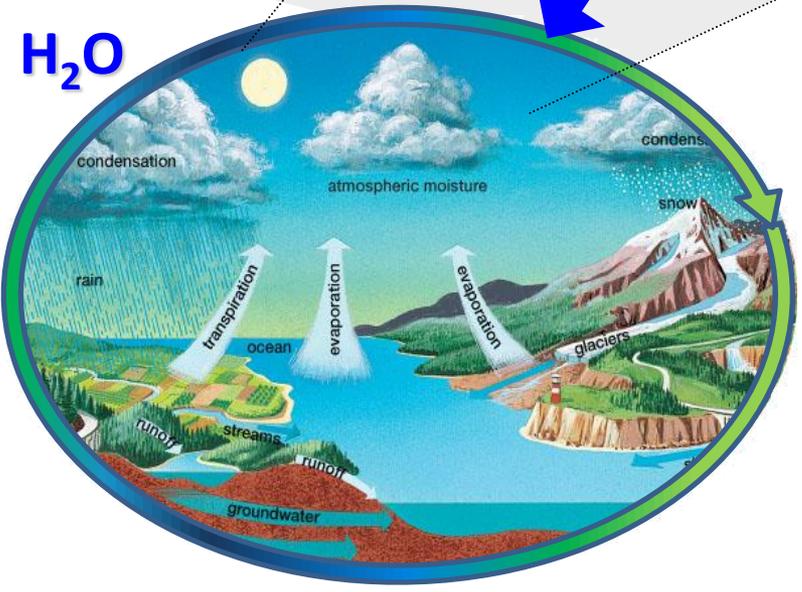
Actions des surfaces sur l'état atmosphérique et le climat local

Atmosphère
Système climatique



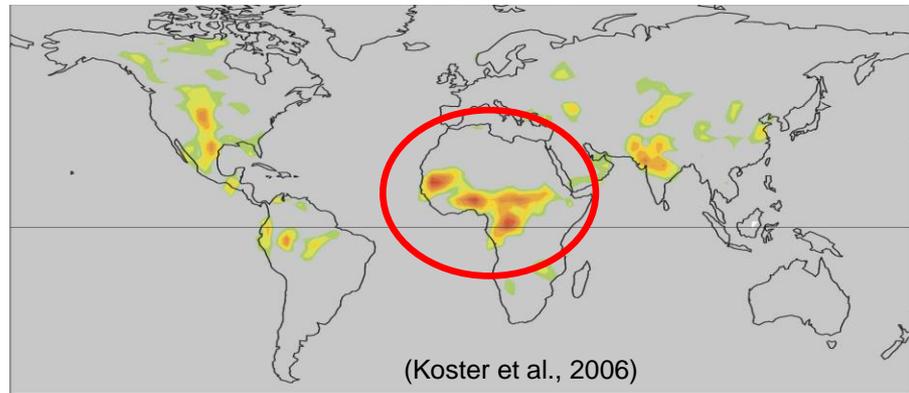
Couplage des cycles eau
et énergie
(via l'évapotranspiration)

H₂O

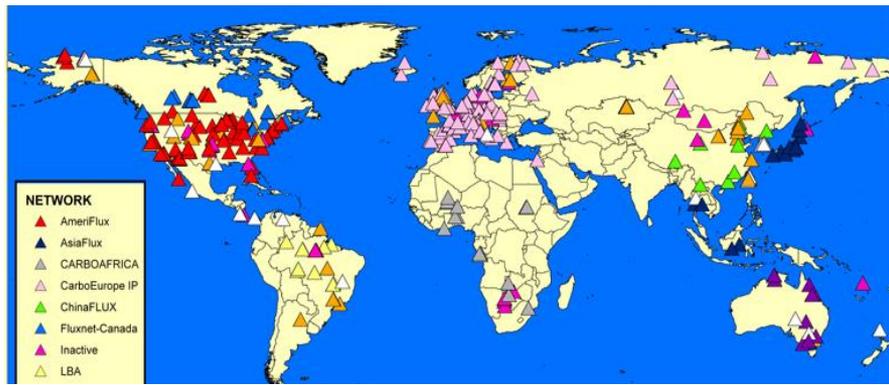


Régions tropicales

Des zones où les rétroactions de la surface vers l'atmosphère seraient les plus marquées ...

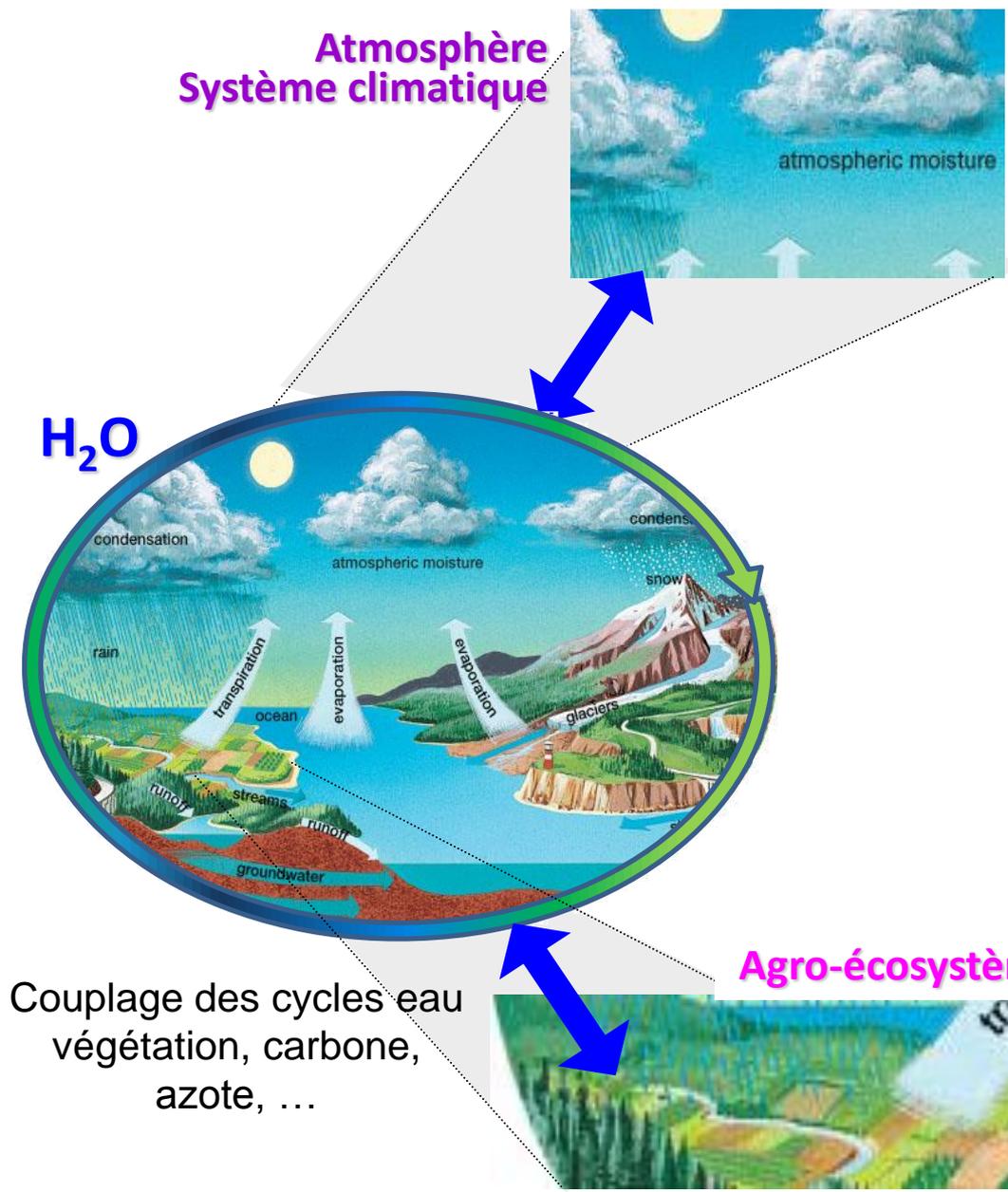


... et pourtant des zones où la documentation reste la plus faible
(ex : carte réseau FLUXNET)



Evolutions des ressources hydrologiques et végétales au Sahel agropastoral ?

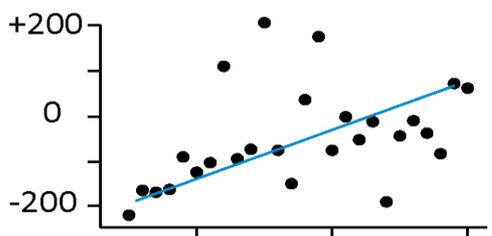
Actions des surfaces sur le fonctionnement et la dynamique de la végétation



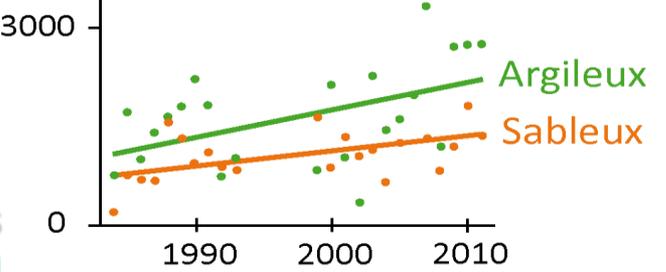
Sahel agropastoral

Des zones où les effets de sols peuvent être aussi importants que ceux imputables à la variabilité climatique

Anomalie de précipitations (mm) - Hombori (Mali)



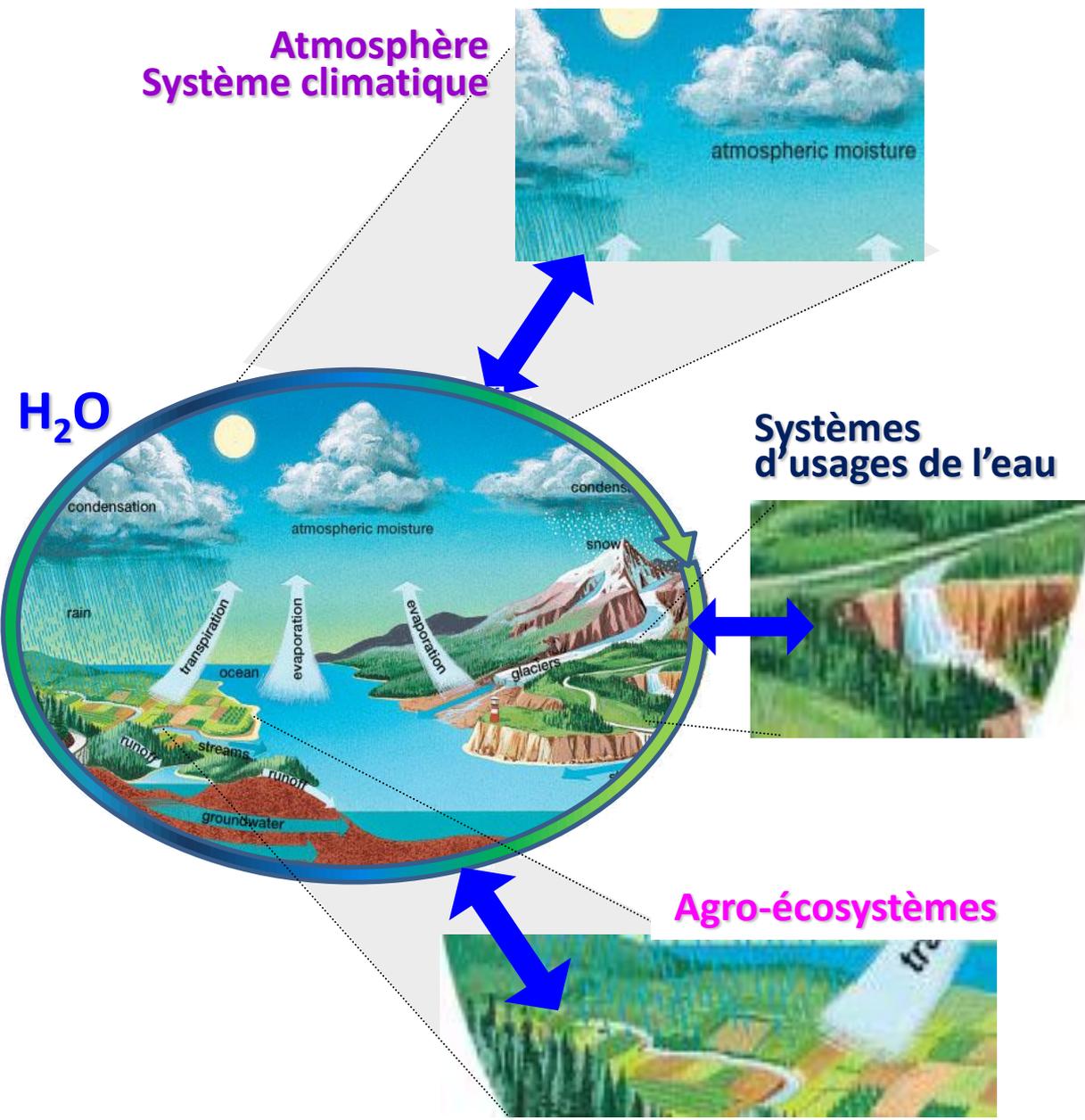
Masse d'herbacées (kg/ha)



Dardel et al. (2012, 2014)

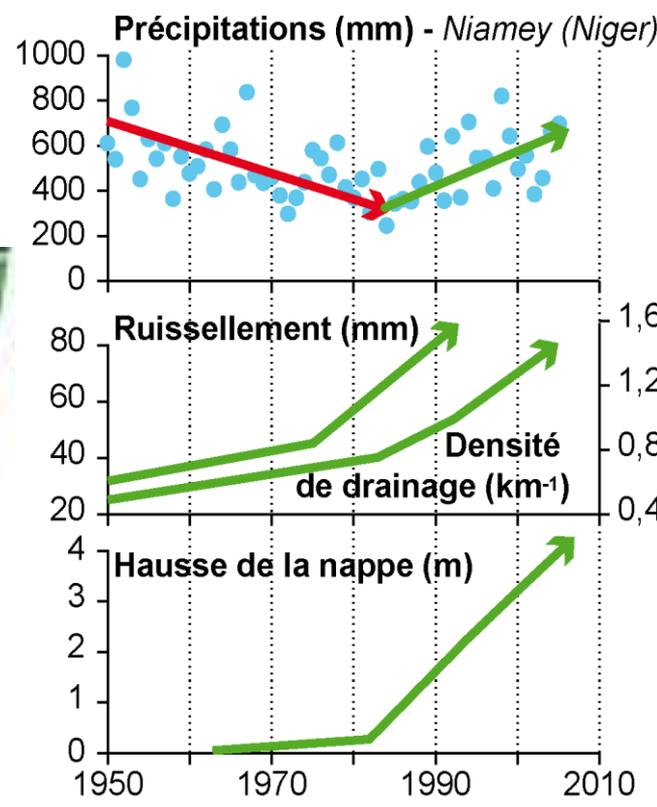
Evolutions des ressources hydrologiques et végétales au Sahel agropastoral ?

Actions des surfaces et de leurs évolutions sur les ressources hydrologiques



Sahel agropastoral

Des zones où la ressource en eau est directement contrôlé par le fonctionnement de la surface

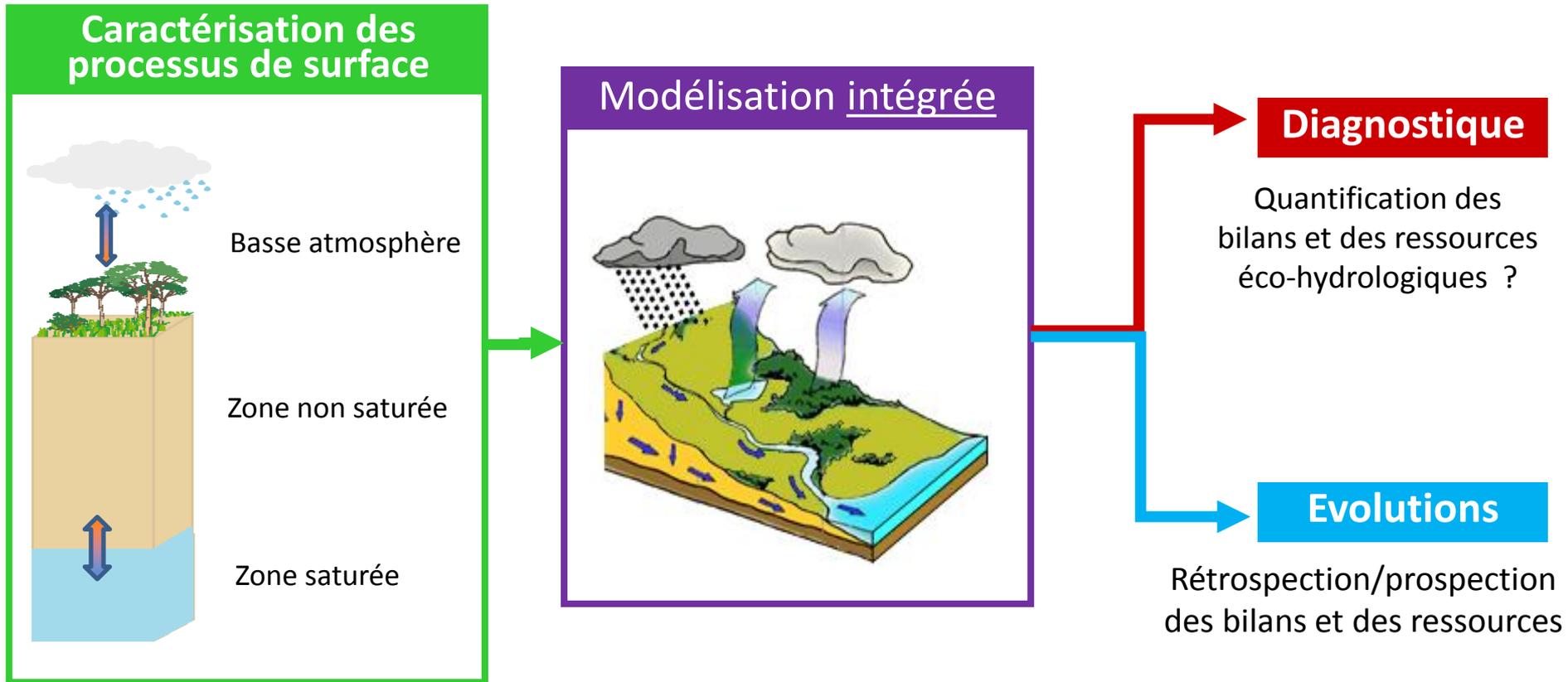


Leblanc et al. (2008) ; Cappelaere et al. (2009)

Evolutions des ressources hydrologiques et végétales au Sahel agropastoral ?

Démarche générale et outils requis

Elaboration d'une *approche mécaniste et intégrative* des processus *physiques et biologiques* du cycle de l'eau et de ses *couplages* vers des *modélisations explicatives/prédictives*

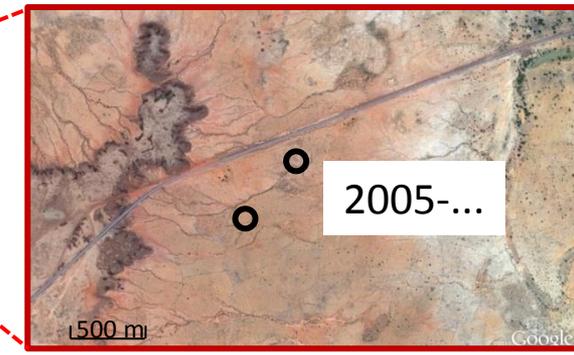
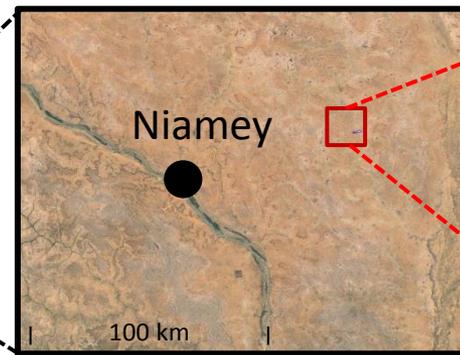


Caractérisation des processus de surface au Sahel agropastoral

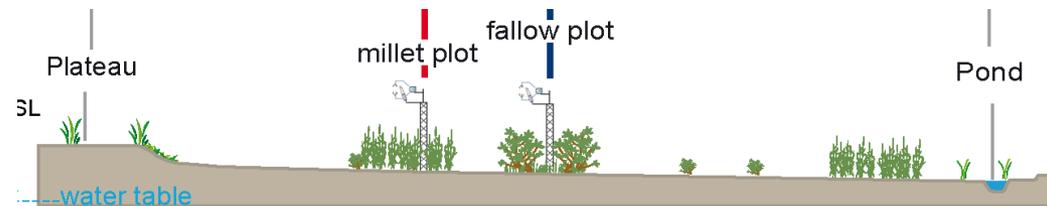
Site de l'ORE AMMA CATCH - Sud-Ouest Niger – Ex : Instrumentation à Wankama (~40km Est-Niamey)

Sud-Ouest Niger

Versant de Wankama



www.amma-catch.org ; *Lebel et al., 2009*



- **Climat** : tropical semi-aride
 - **Précipitations** : 400-700 mm/an
 - **ETP** : 2 300 mm/an
 - **Température** : ~30°C
- **Sols** : sableux/encroûtés
- **Écosystèmes** :
 - Brousse tigrée
 - Champs cultivés (mil)
 - Savane arbustive
- **Élevage**

Saison des pluies



Saison sèche



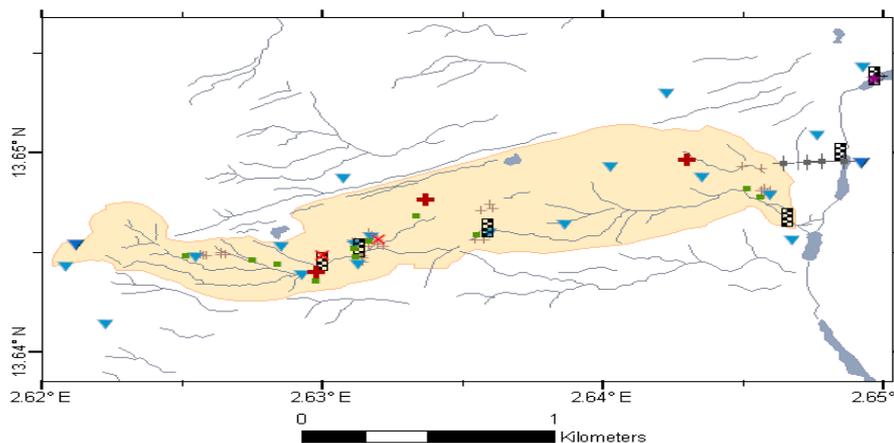
1) - Champ de mil

2) - Savane arbustive (jachère)

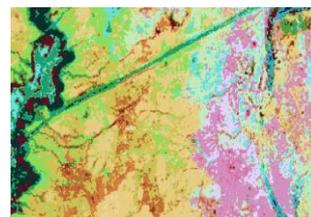
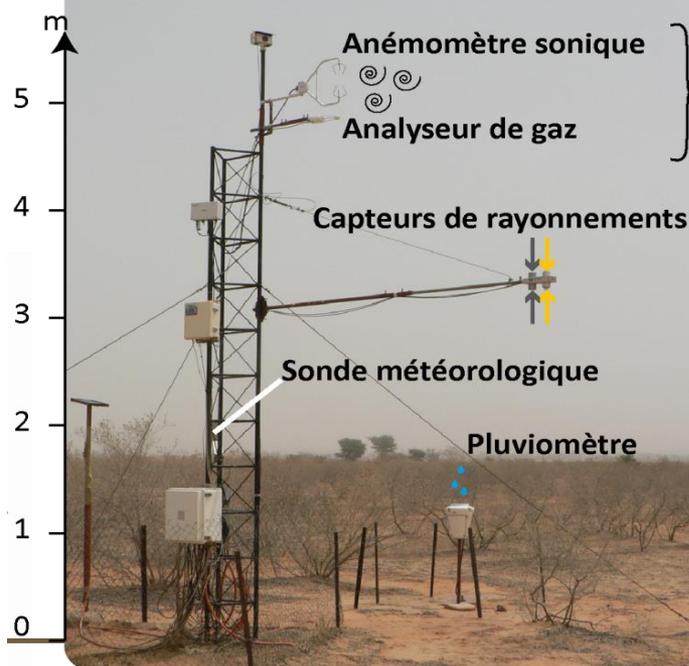
Caractérisation des processus de surface au Sahel agropastoral

Site de l'ORE AMMA CATCH - Sud-Ouest Niger – Instrumentation à Wankama (~40km Est-Niamey)

Wankama catchment



Tour de flux



Observatoire AMMA CATCH Niger

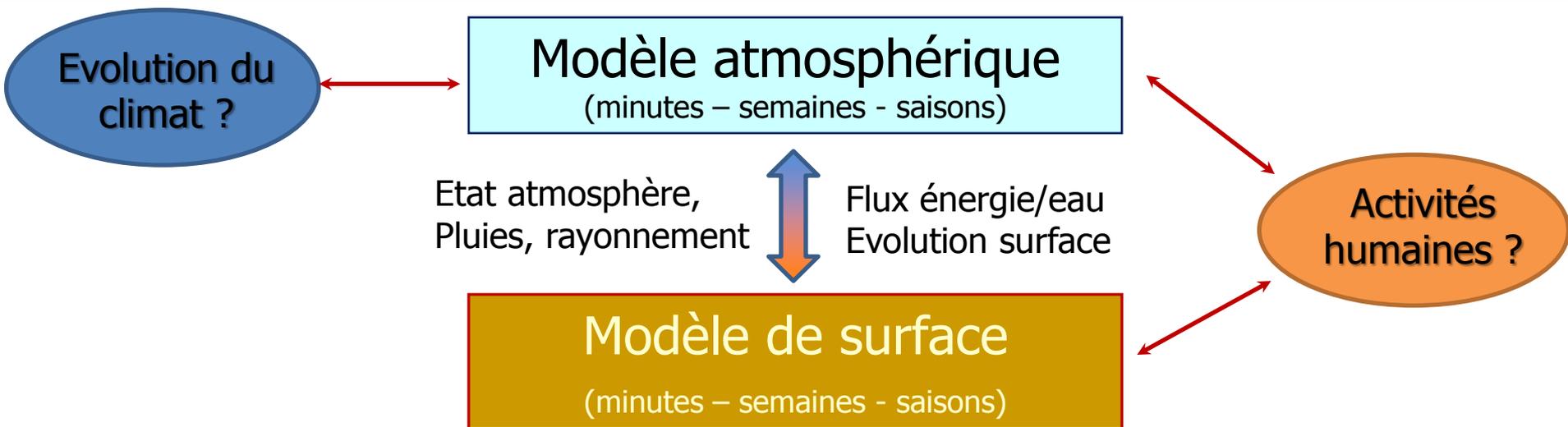


- **Météorologie**
pluie, vent, température, humidité
- **Flux et stockage d'eau et d'énergie**
Radiation, flux de chaleur dans le sol, chaleur sensible et latente, humidimétrie, piézométrie, ...
- **Propriétés des sols**
granulométrie, densité, albédo
- **Occupation de sols par télédétection**
- **Végétation** (culture, guiera, herbacés)
Phénologie: composition, hauteur, saisonnalité, LAI, biomasse, rendement
Ecophysiologie : conductance stomatique, potentiel hydrique

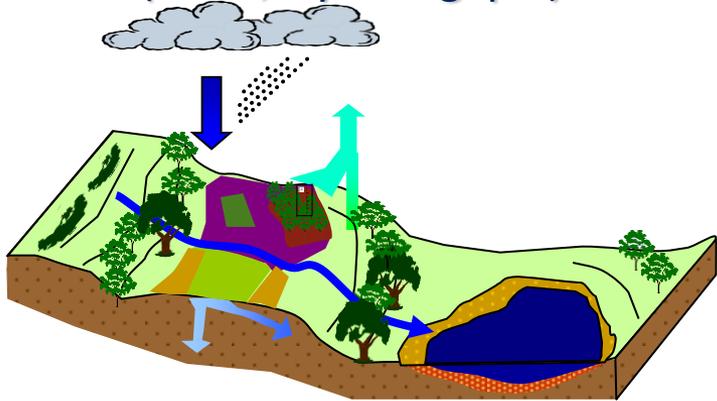
Cappelaere et al., 2009, Boulain et al., 2009, Ramier et al., 2009, Hiernaux et al., 2009, ...

Modélisation intégrée des processus de surface

Des critères de choix de modélisation variables en fonction des objectifs, des échelles, des connaissances, ...

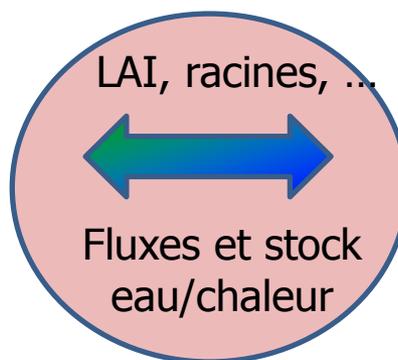


Ressources hydrologiques (SVAT / hydrologique)

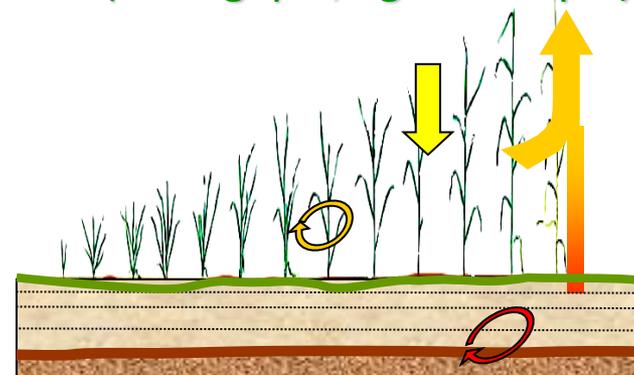


Bilans d'énergie et d'eau (1D, 2D, 3D)

Echanges avec l'atmosphère et la nappe, écoulements, ...



Ressources végétales (écologique, agronomique)



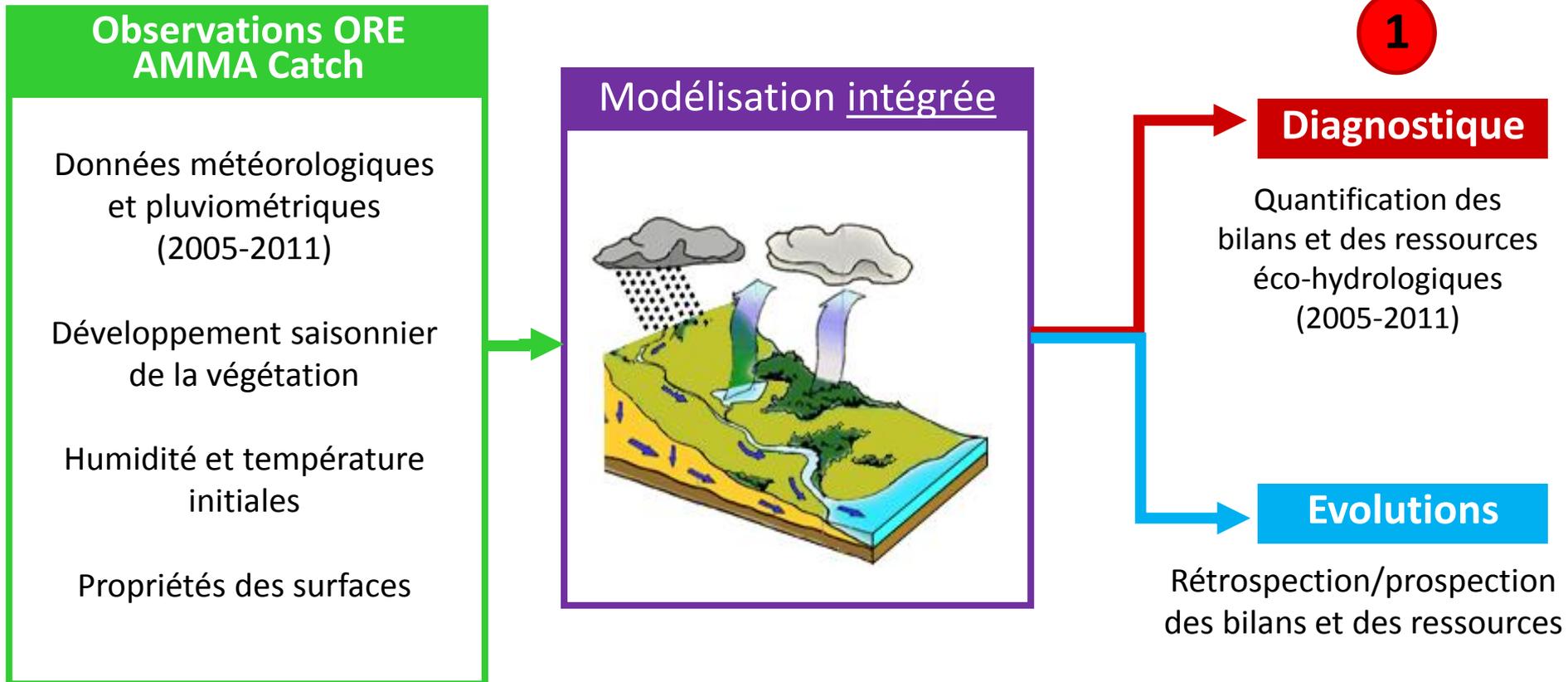
Phénologie, bilan de carbone (1D)

Production végétale, échanges de carbone, dynamique

Evolutions des ressources hydrologiques et végétales au Sahel agropastoral ?

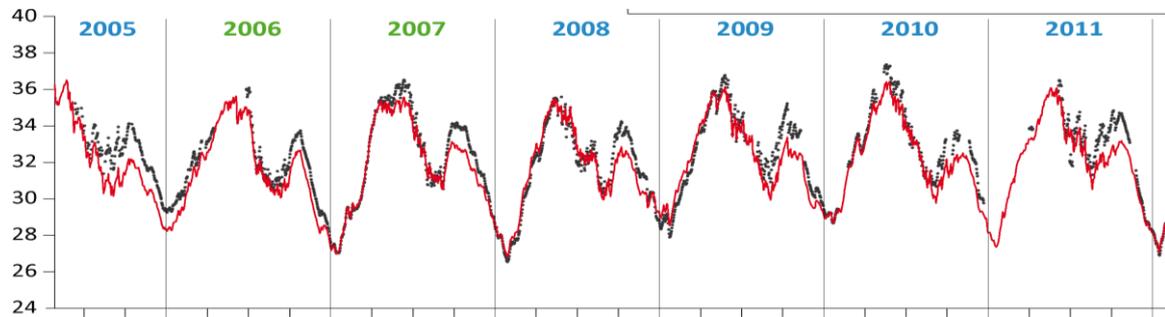
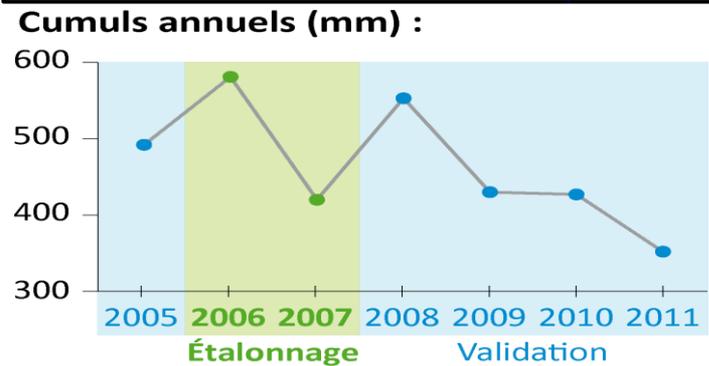
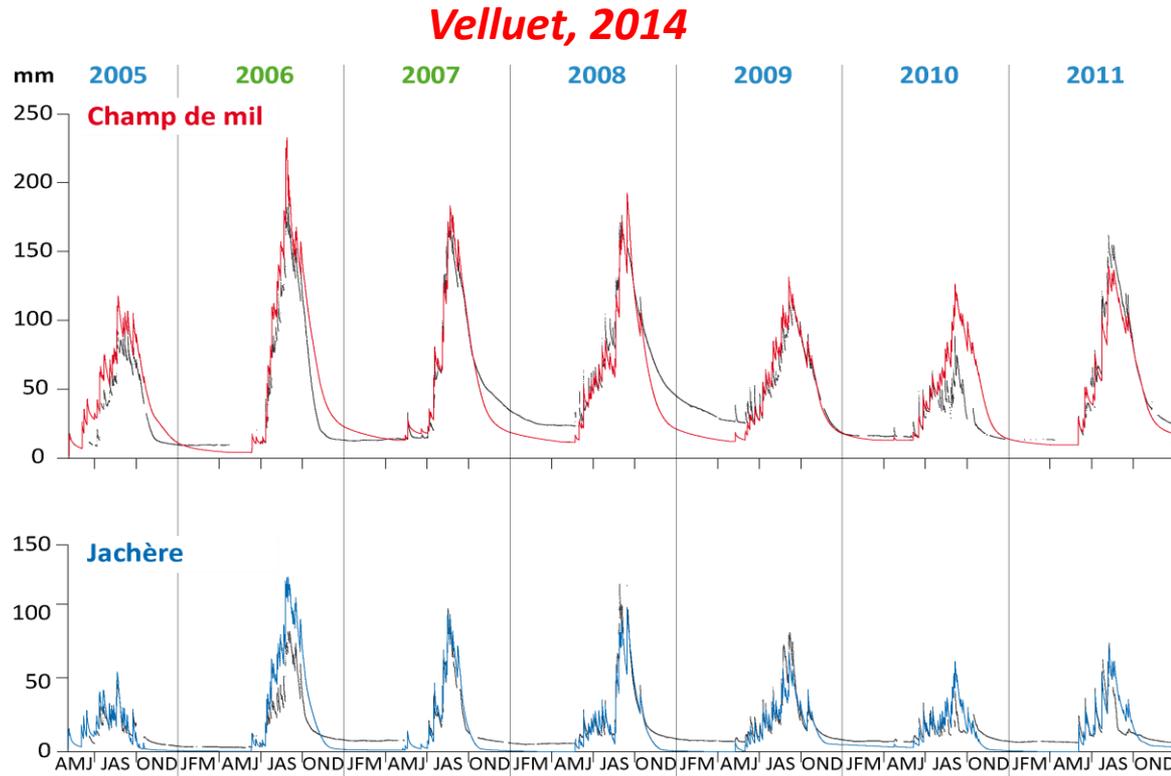
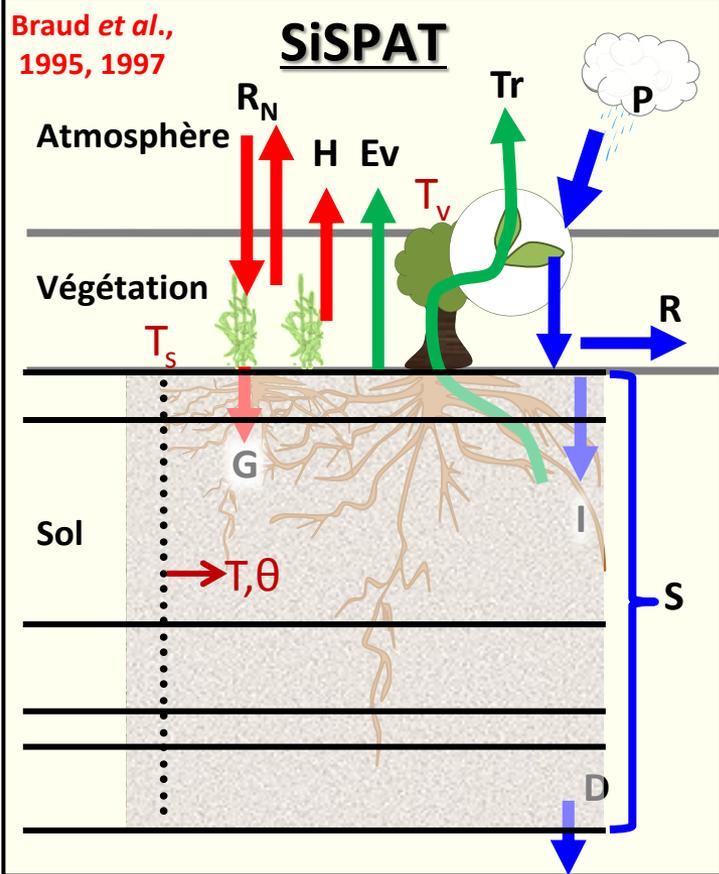
Démarche générale et outils requis

Elaboration d'une *approche mécaniste et intégrative* des processus *physiques et biologiques* du cycle de l'eau et de ses *couplages* vers des *modélisations explicatives/prédictives*



Modélisation intégrée des processus de surface

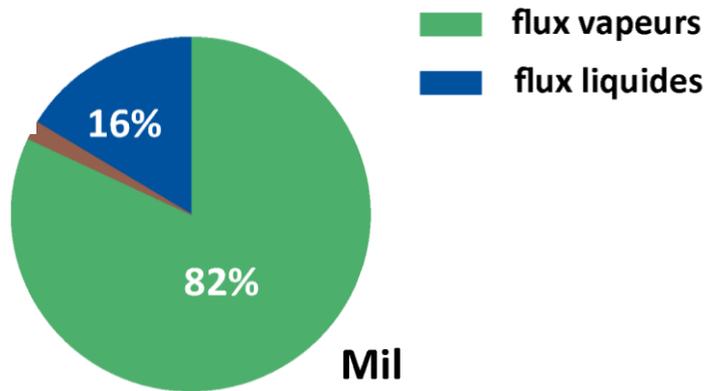
Critères de choix des modélisation et évaluation en regard des observations recueillies in situ



Diagnostic : Quantification des bilans et des ressources éco-hydrologiques

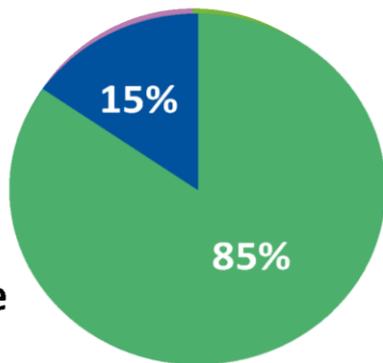
Bilans d'eau annuel et saisonnier (modèle SiSPAT – 2005-2011)

Velluet et al, HESS, 2014



Mil

P=465 mm/an
(100%)



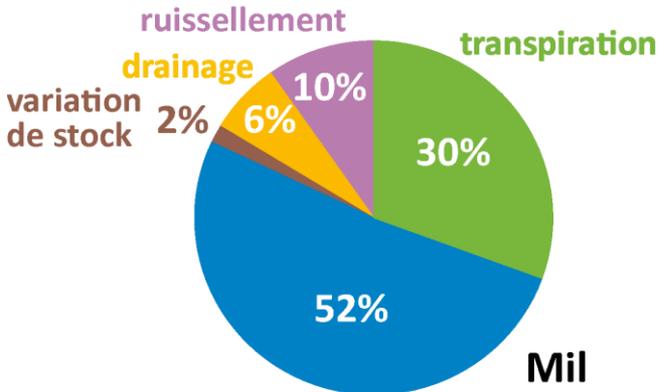
Jachère

- 85% de l'eau retourne à l'atmosphère par évapotranspiration !
- Répartition annuelle eau bleu –eau verte similaire entre les 2 couverts

Diagnostic : Quantification des bilans et des ressources éco-hydrologiques

Bilans d'eau annuel et saisonnier (modèle SiSPAT – 2005-2011)

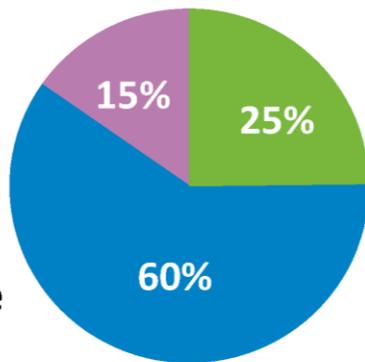
Velluet et al, HESS, 2014



Mil

évaporation

P=465 mm/an
(100%)

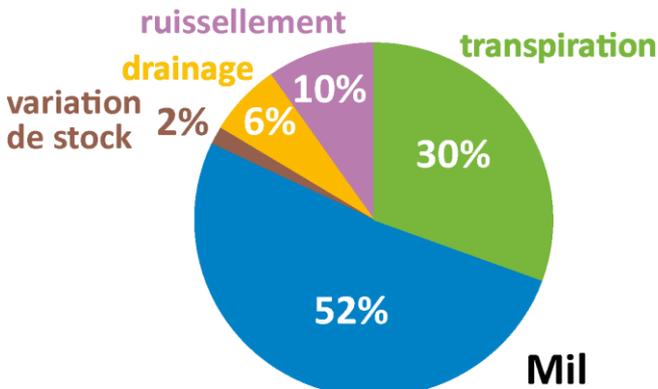


Jachère

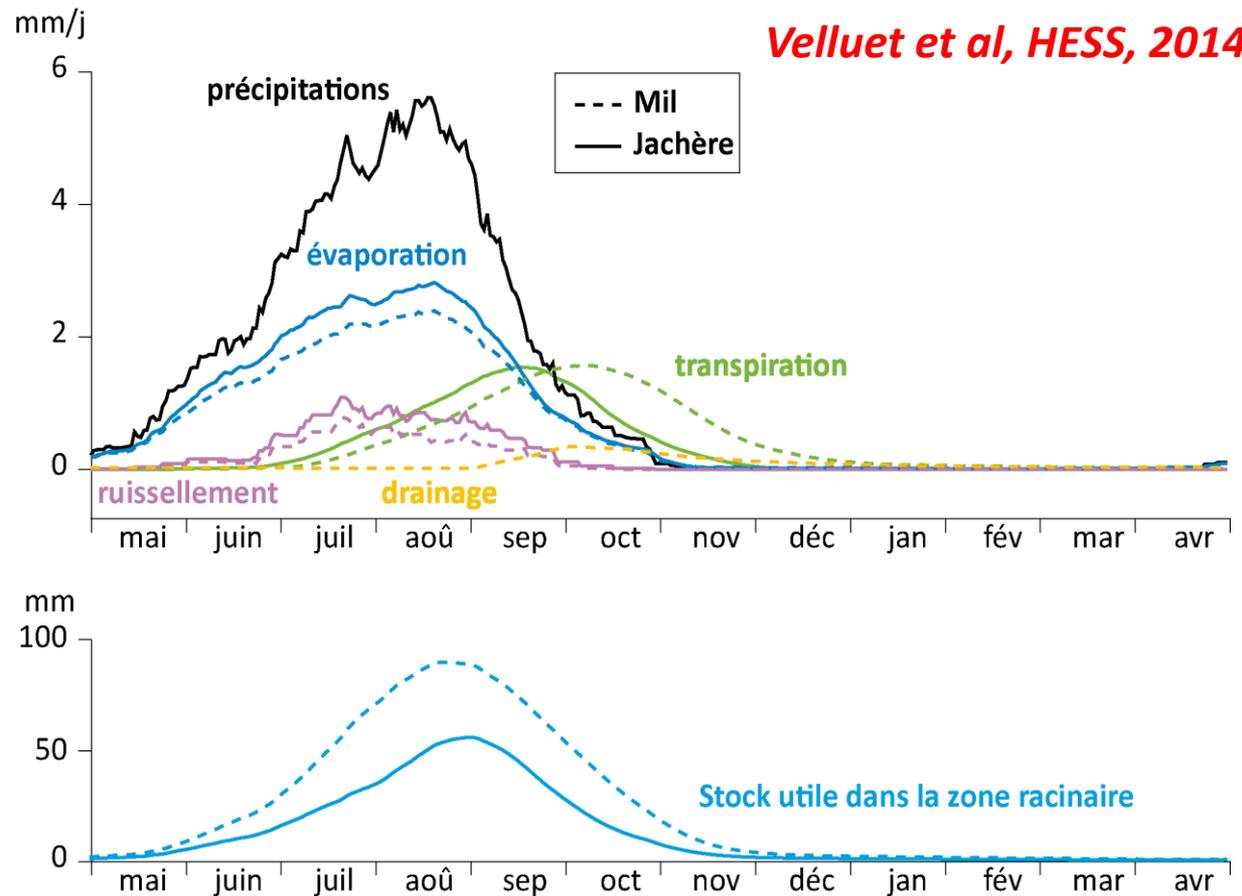
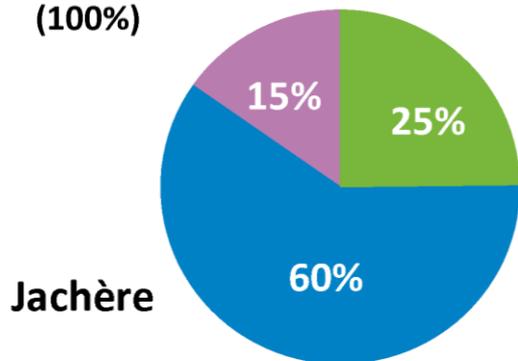
- 85% de l'eau retourne à l'atmosphère par évapotranspiration !
- Une répartition annuelle eau bleu –eau verte similaire entre les 2 couverts ...
... résultant de comportements hydrologiques différents !

Diagnostic : Quantification des bilans et des ressources éco-hydrologiques

Bilans d'eau annuel et saisonnier (modèle SiSPAT – 2005-2011)



P=465 mm/an
(100%)



Velluet et al, HESS, 2014

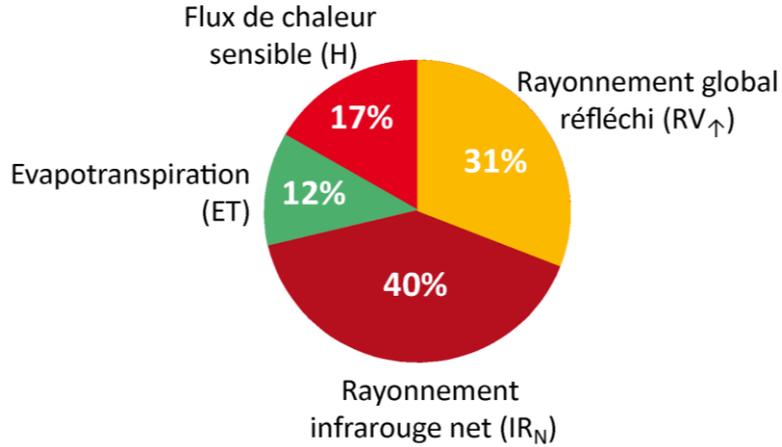
- **Effet sol** → croutes & pratiques agricoles
 - Ruissellement des jachères vs infiltration/drainage sous cultures
 - Evaporation des jachères est plus forte
- **Effet du couvert végétal** → Guieras dans les champs de mil
 - La transpiration devient dominante à la fin de la saison des pluies

Diagnostic : Quantification des bilans et des ressources éco-hydrologiques

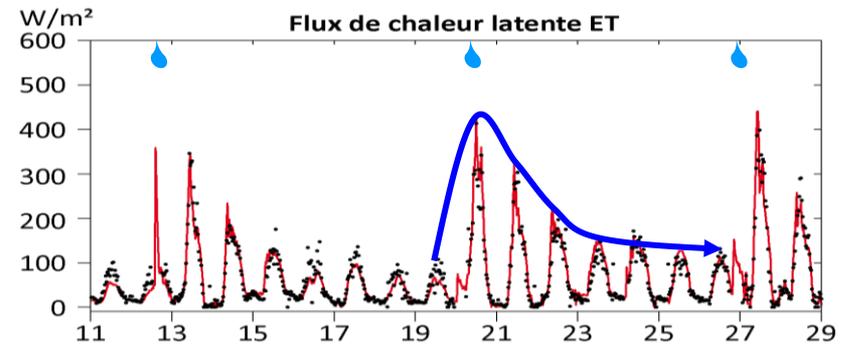
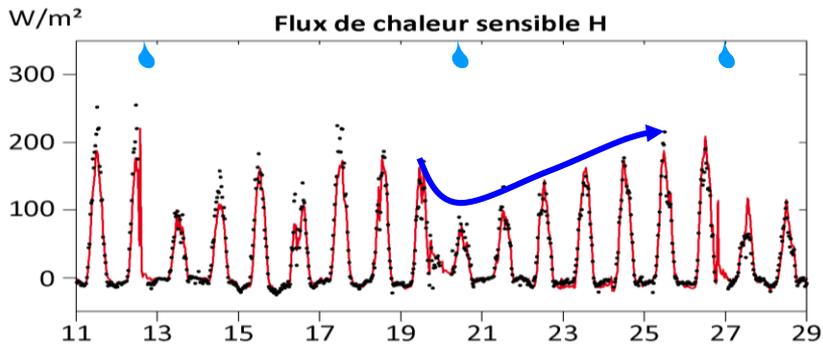
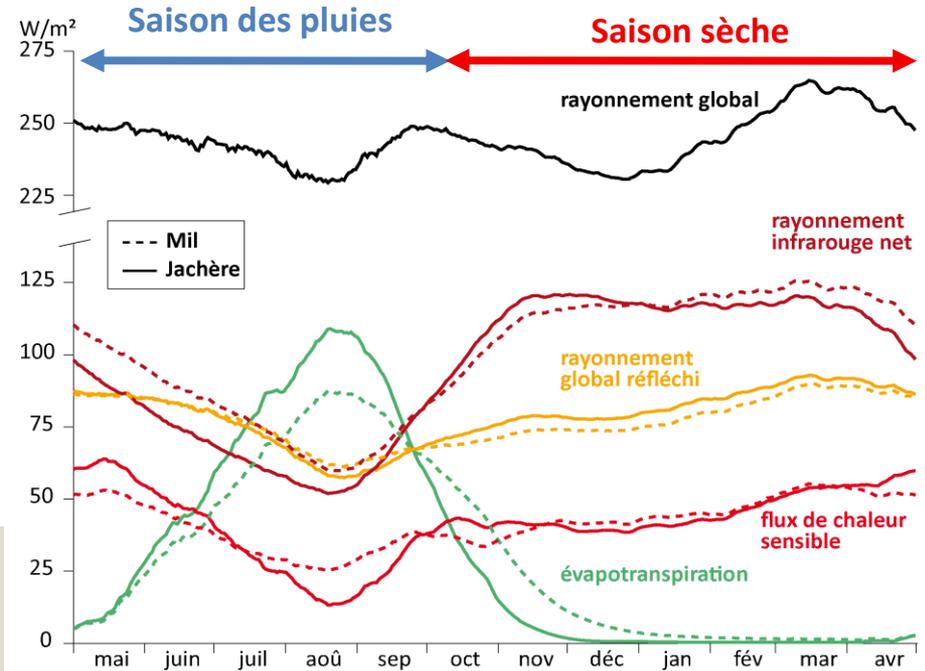
Bilans d'énergie annuel et saisonnier (modèle SiSPAT – 2005-2011)

Velluet et al, HESS, 2014

Rayonnement global
RV = 250 W/m² (100%)



- Peu de différences annuelle entre les deux écosystèmes
- Mais une saisonnalité contrastée



Juillet 2008

Evolutions des ressources hydrologiques et végétales au Sahel agropastoral ?

Démarche générale et outils requis

Elaboration d'une *approche mécaniste et intégrative* des processus *physiques et biologiques* du cycle de l'eau et de ses *couplages* vers des modélisations *explicatives/prédictives*

Caractérisation des processus de surface

Données météorologiques et pluviométriques reconstruites (1950-2010)

Propriétés des surfaces (ORE AMMA CATCH)

Développement saisonnier de la végétation

Modélisation intégrée



Diagnostic

Quantification des bilans et des ressources éco-hydrologiques

2

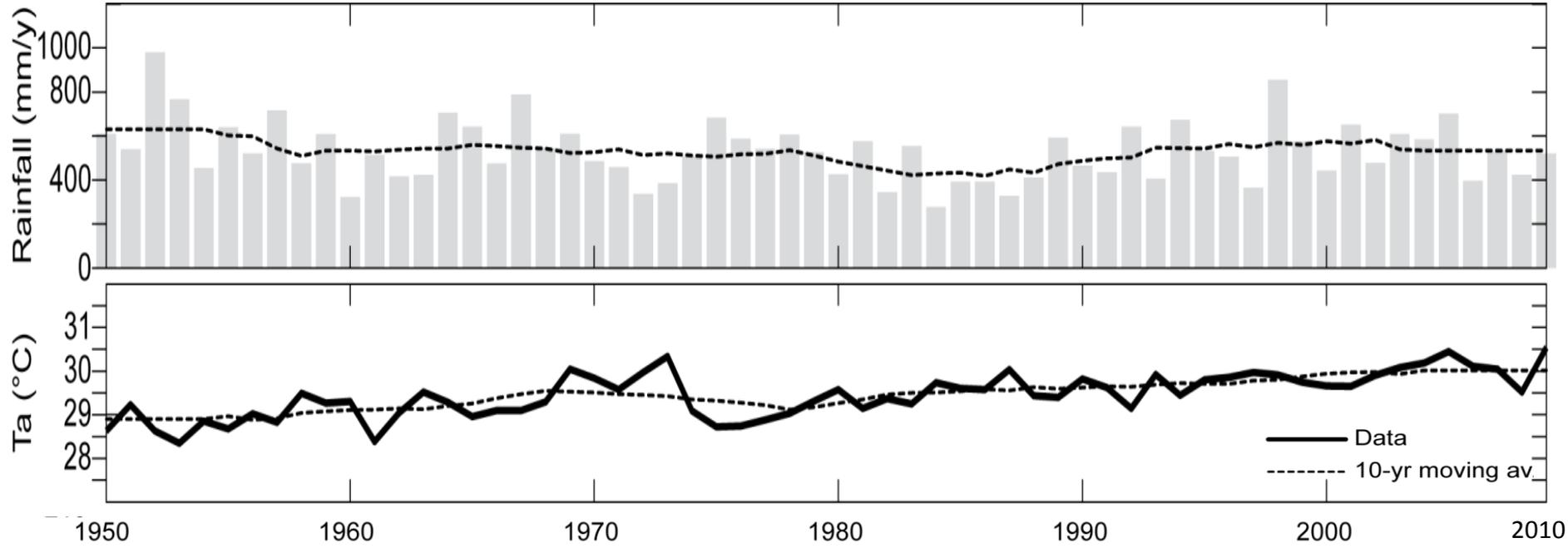
Evolutions

Rétrospection/prospection des bilans et des ressources

Anticipation : Evolutions rétrospectives des bilans éco-hydrologiques et végétales ?

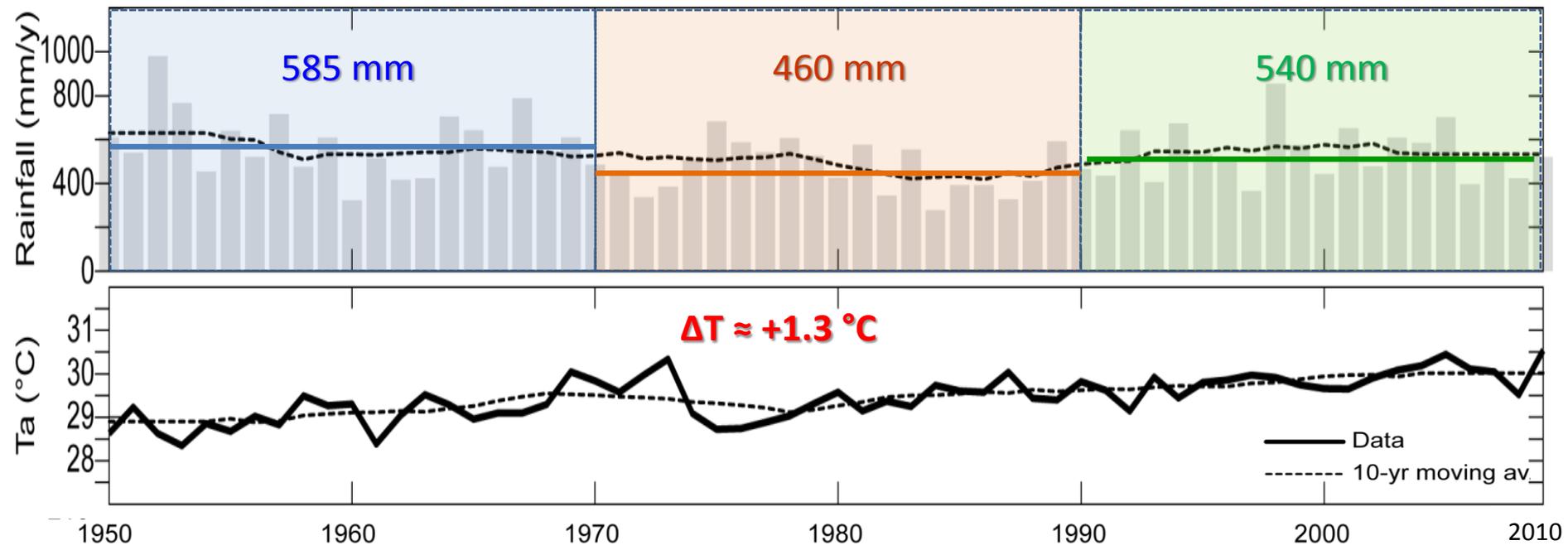
Reconstruction des séries historiques hydro-climatiques (Station Niamey – 1950-2010)

escape



Anticipation : Evolutions rétrospectives des bilans éco-hydrologiques et végétales ?

Reconstruction des séries historiques hydro-climatiques (Station Niamey – 1950-2010)



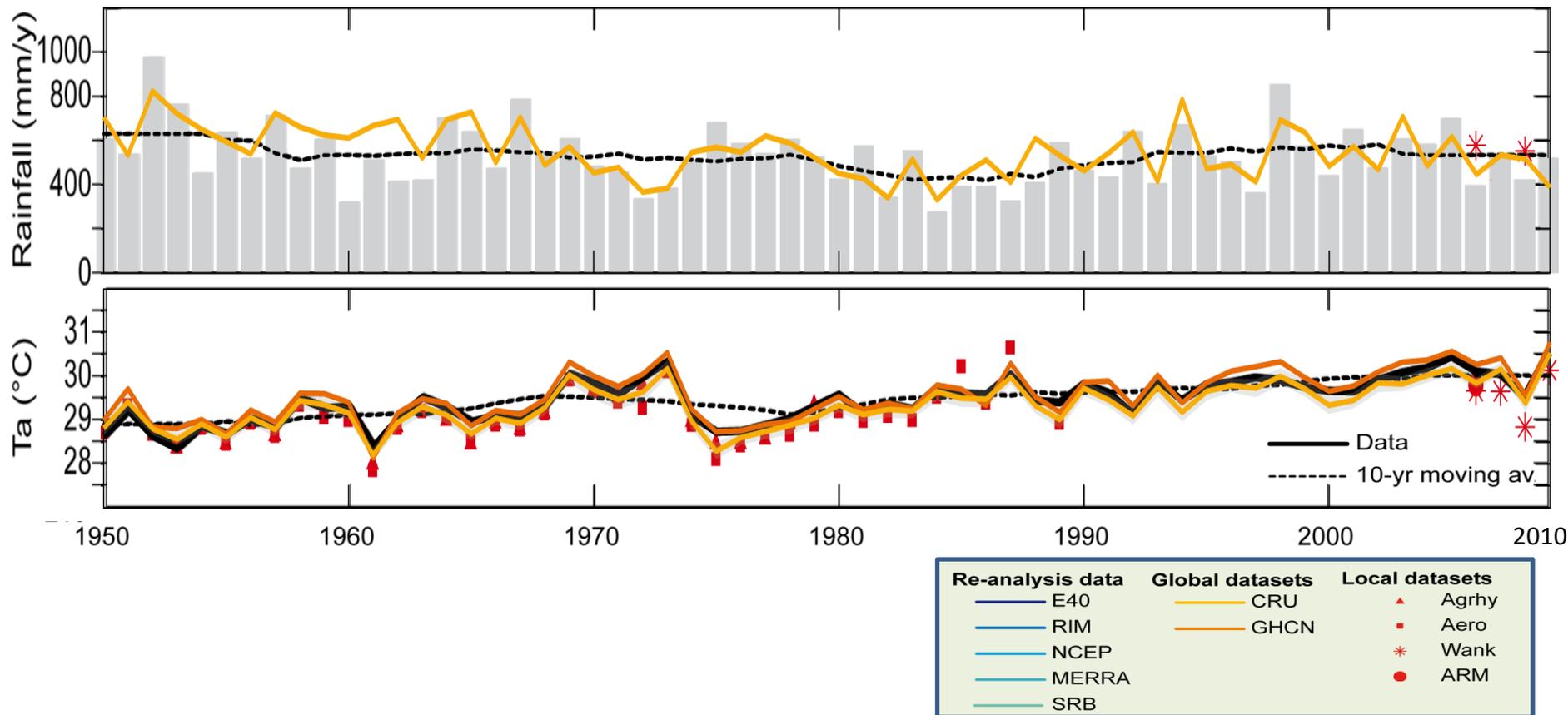
Léauthaud *et al.*, en préparation



Anticipation : Evolutions rétrospectives des bilans éco-hydrologiques et végétales ?

Reconstruction des séries historiques hydro-climatiques (Station Niamey – 1950-2010)

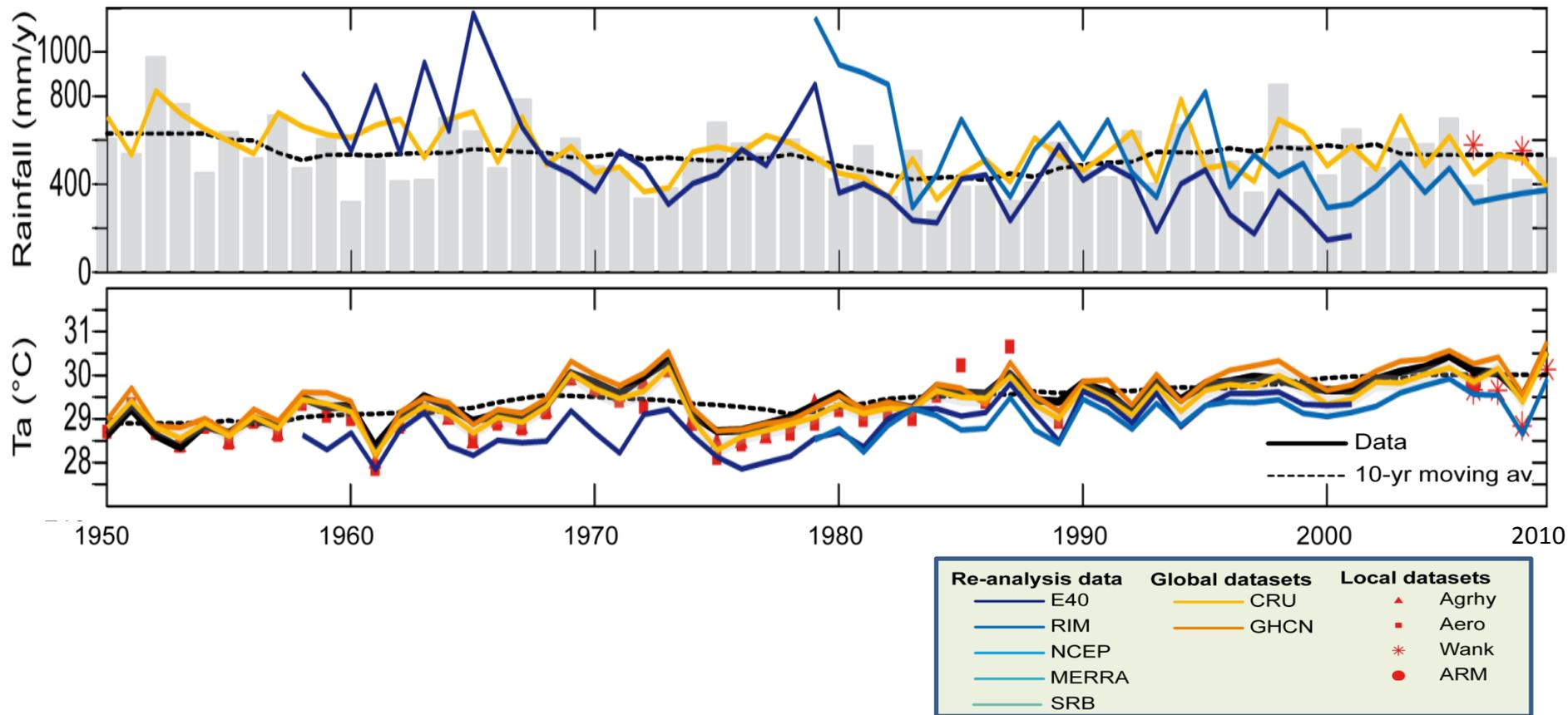
escape



Anticipation : Evolutions rétrospectives des bilans éco-hydrologiques et végétales ?

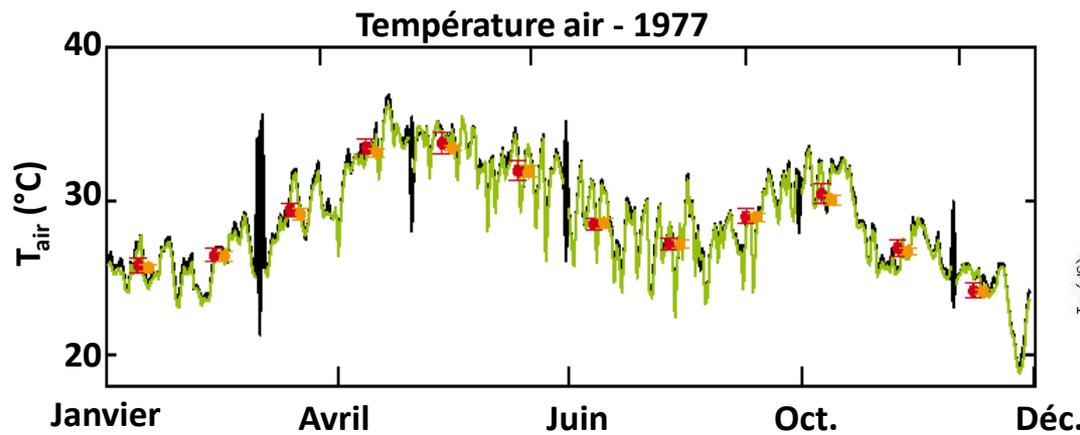
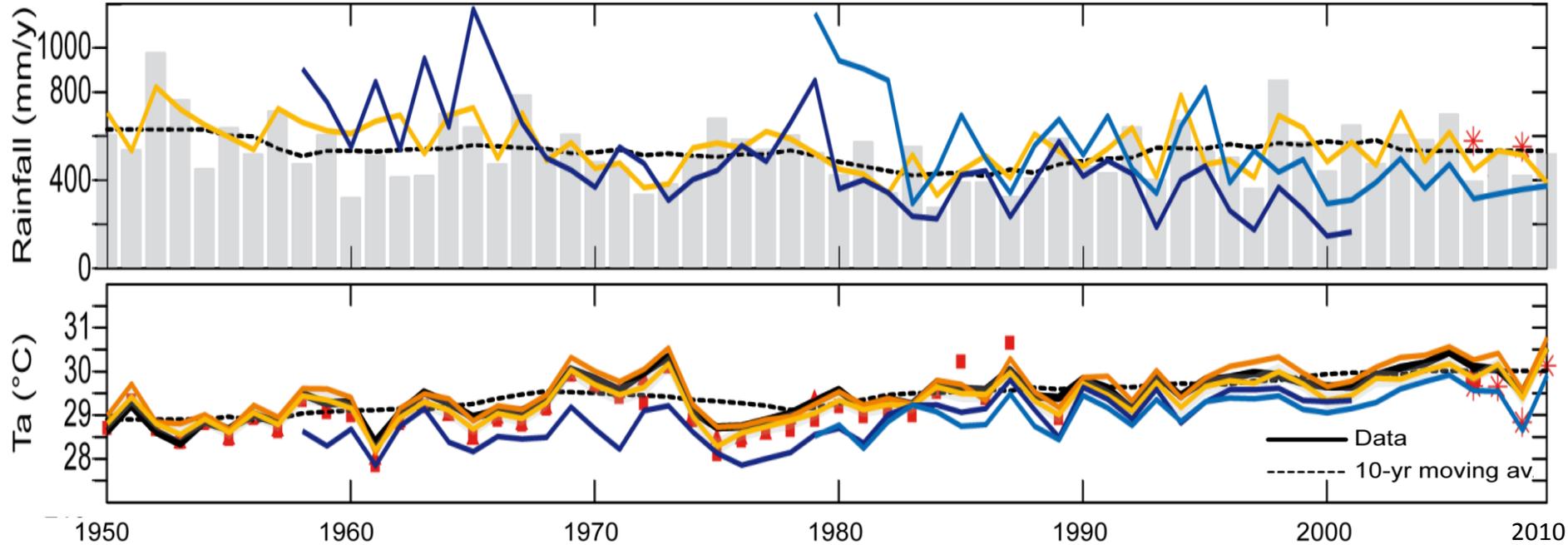
Reconstruction des séries historiques hydro-climatiques (Station Niamey – 1950-2010)

escape

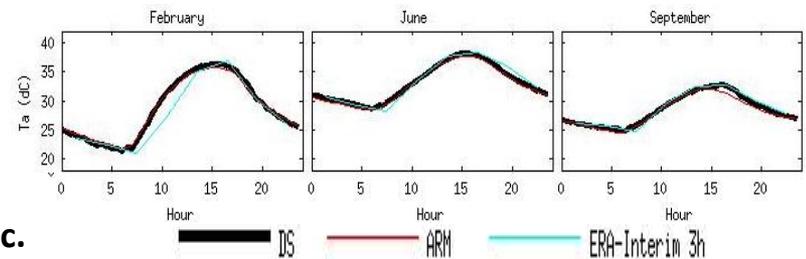


Anticipation : Evolutions rétrospectives des bilans éco-hydrologiques et végétales ?

Reconstruction des séries historiques hydro-climatiques (Station Niamey – 1950-2010)



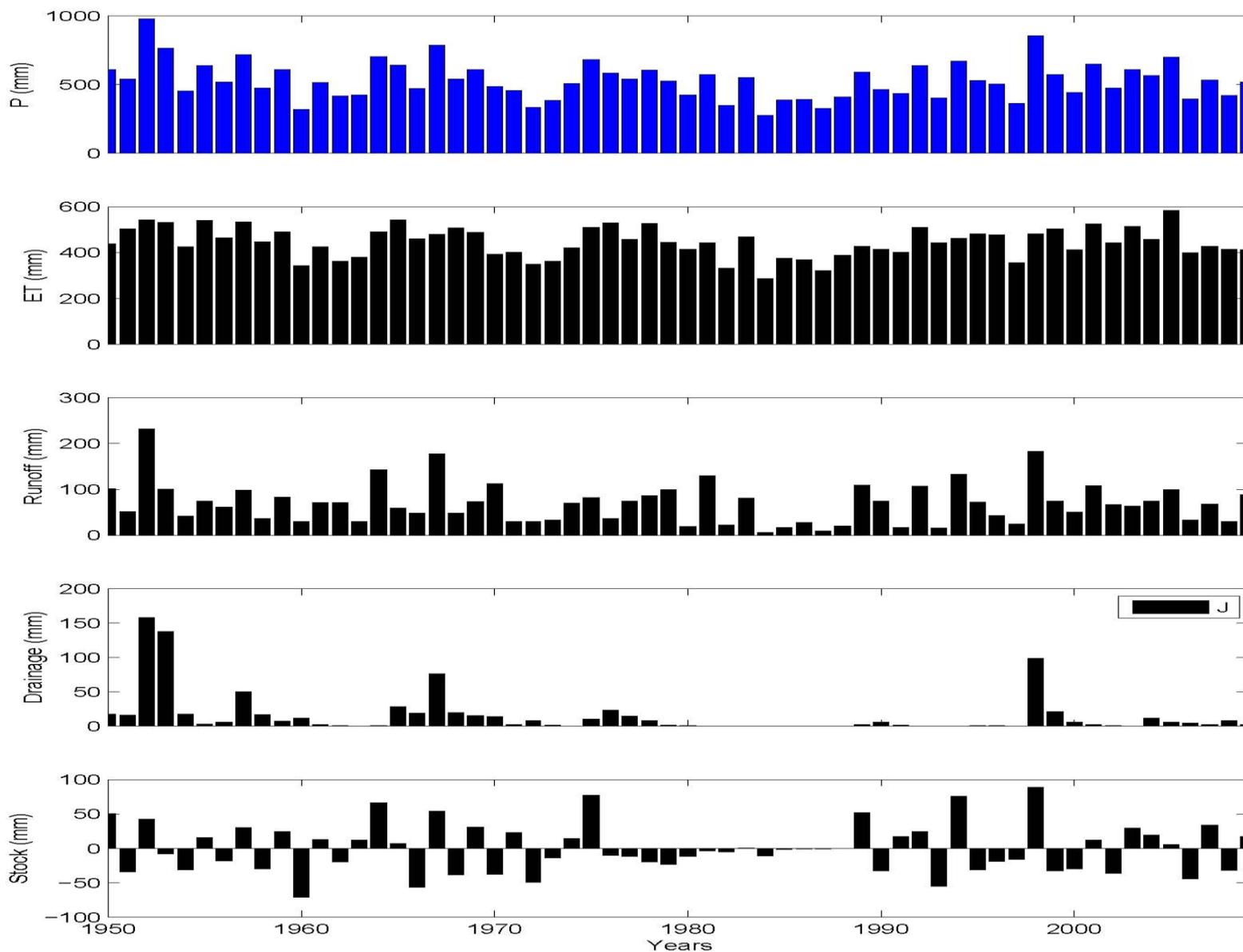
Re-analysis data	Global datasets	Local datasets
— E40	— CRU	▲ Agrhy
— RIM	— GHCN	■ Aero
— NCEP		* Wank
— MERRA		● ARM
— SRB		



Anticipation : Evolutions rétrospectives des bilans éco-hydrologiques et végétales ?

Bilans d'eau interannuels (Modèle SiSPAT – Station Niamey - 1950-2010)

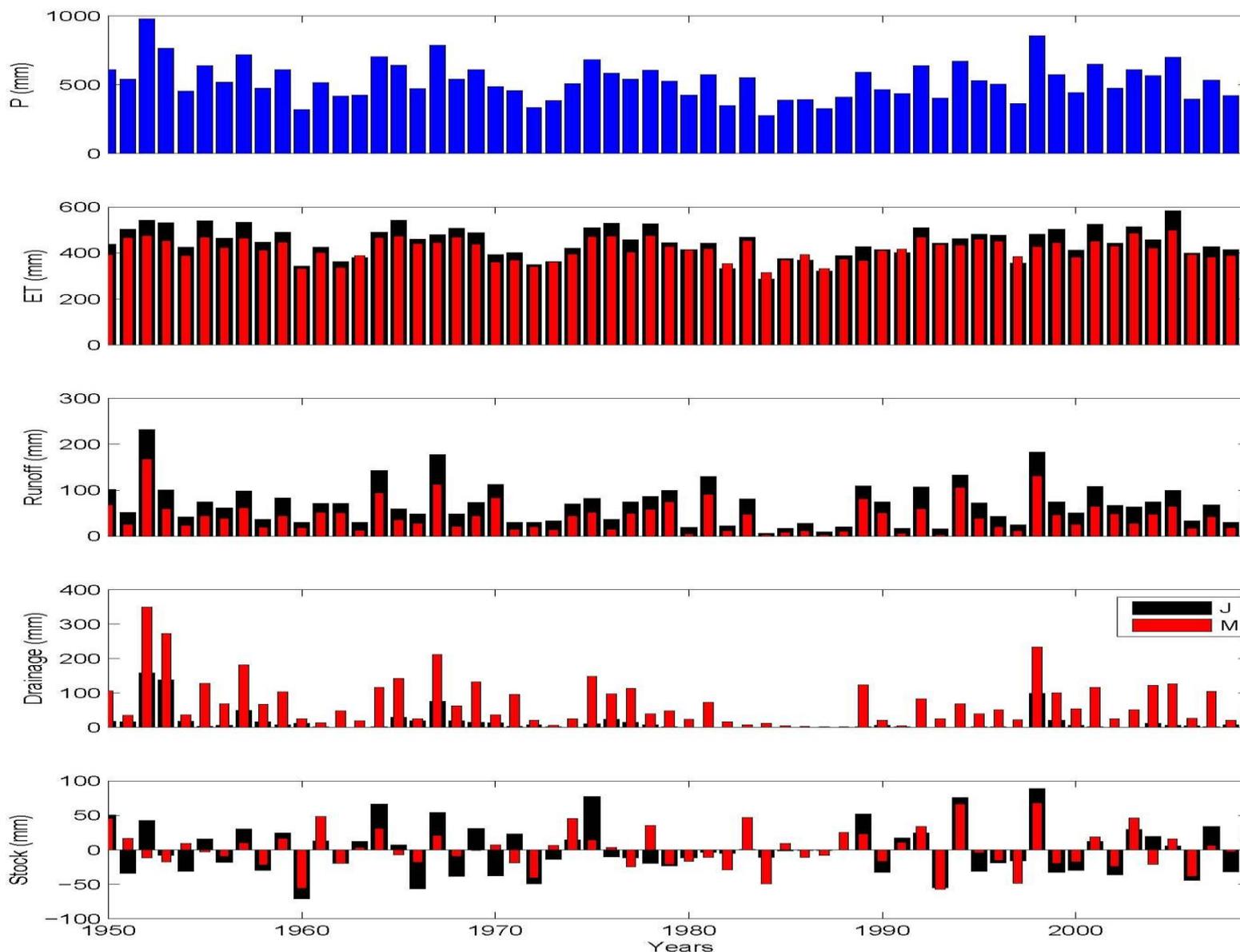
escape



Anticipation : Evolutions rétrospectives des bilans éco-hydrologiques et végétales ?

Bilans d'eau interannuels (Modèle SiSPAT – Station Niamey - 1950-2010)

escape



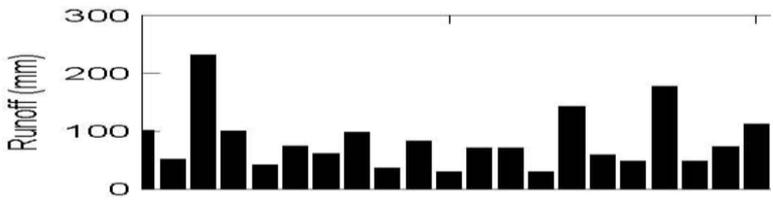
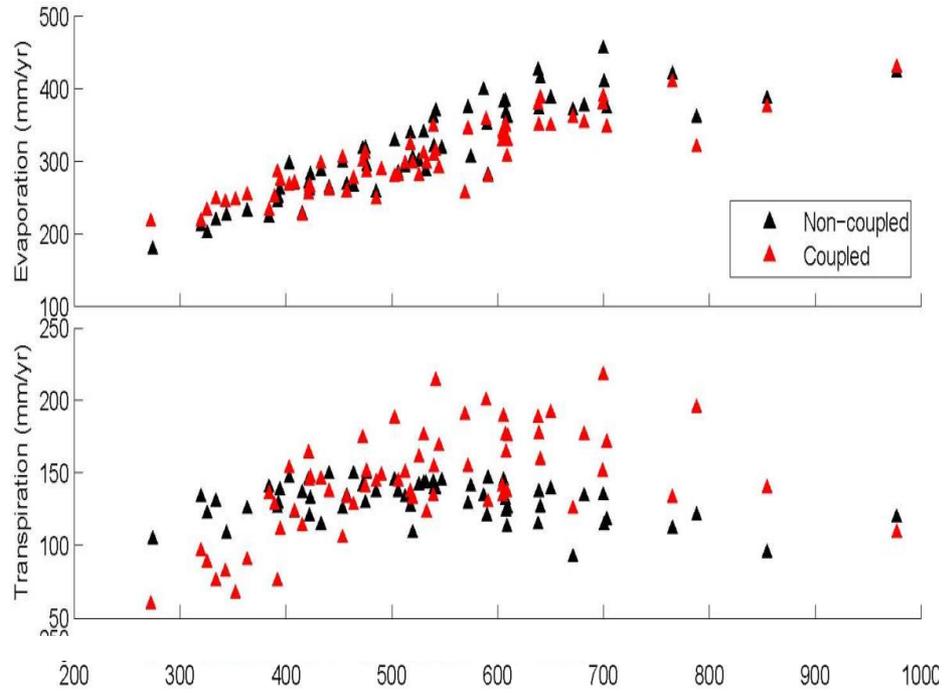
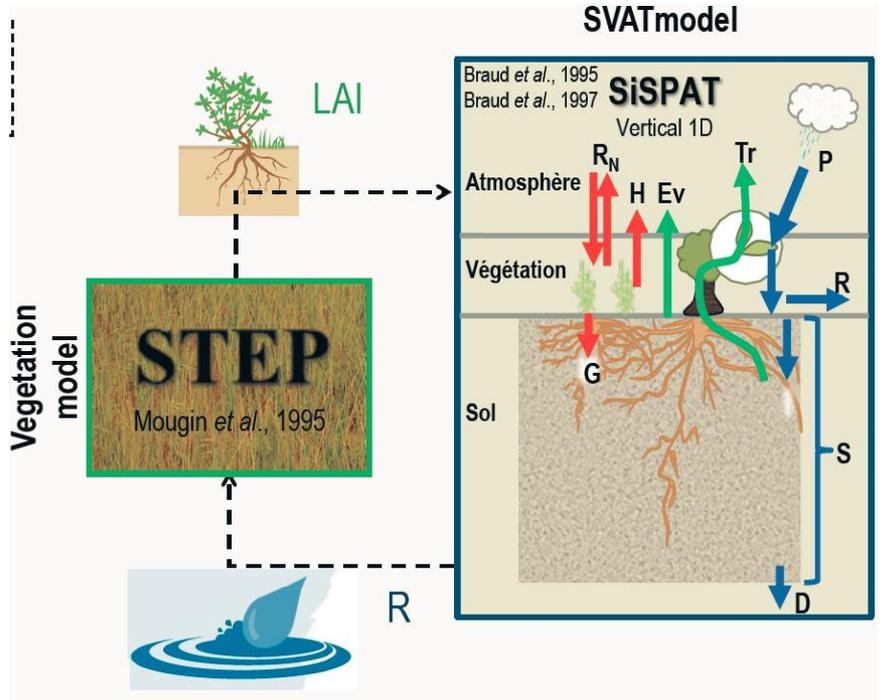
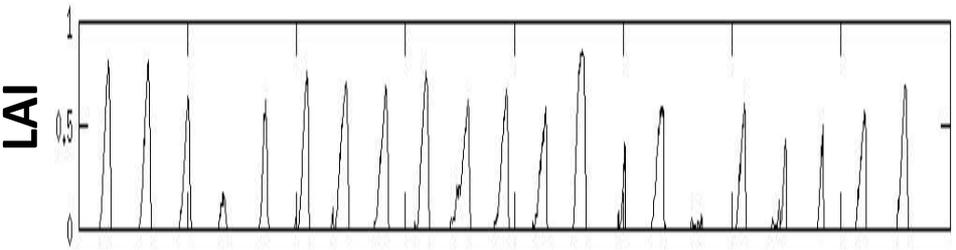
Jachère > Mil

Mil >> Jachère
Recharge
diffuse sous les
champs ?

Effet mémoire
des sols ?

Anticipation : Evolutions rétrospectives des bilans éco-hydrologiques et végétales ?

Apports de la modélisation couplée hydrologie-végétation (SiSPAT_STEP – 1950-2010)



■ Fort impact de la végétation sur la transpiration, compensée essentiellement par l'évaporation

Évolutions des ressources hydrologiques et végétales au Sahel agropastoral ?

Conclusions

- **L'étude du fonctionnement des surfaces continentales** est essentielle pour aborder la question de l'évolutions des ressources
 - Mise en œuvre d'une approche intégrée adaptée au contexte sahélien
 - Application décennale : impacts de la variabilité climatique et des pratiques locales
 - Diagnostic précis des bilans d'eau, d'énergie (et bientôt du carbone)

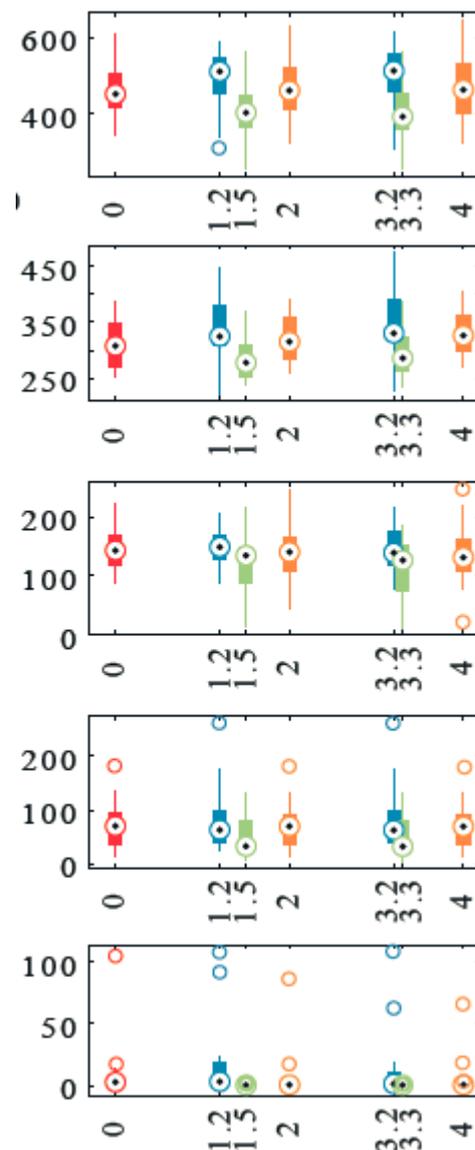
- **Évolutions des ressources (rétrospectif et prospectif)**
 - Base de données historiques (à partir d'observations !)
 - Multi-variable, 60 ans, 30min,
 - Locale ?
 - Modélisation intégrée des ressources
 - Prise en compte des interactions hydrologie-végétation
 - Application rétrospective (1950-2010)
 - Historique des échanges d'eau et d'énergie sur les 60 dernières années
 - Incertitude : Propriétés de surface, évolutions des pratiques, érosion,
 - Modélisation ensembliste
 - Application prospective actuellement en pleine réflexion
 - Scénario d'évolutions
 - Processus : Tair, CO2 ?

escape

Anticipation : Evolutions prospectives des bilans éco-hydrologiques et végétales ?

Projection des ressources en réponse à une augmentation de température (Modèle couplée SiSPAT/STEP)

Scenario	Ta (°C)	Annual P (mm)	Δ P (%)	Δ Ta (°C)
Sc0	29.7± 0.3 (+0)	540± 127	0	0
Sc1	31.2± 0.4 (+2)	460± 110	-15	1.5
Sc2	33.2± 0.4 (+4)	460± 110	-15	3.5
Sc3	31.7± 0.3 (+2)	540± 127	0	2
Sc4	33.7± 0.3 (+4)	540± 127	0	4
Sc5	30.9± 0.3 (+2)	585± 157	8	1.2
Sc6	32.9± 0.3 (+4)	585± 157	8	3.2

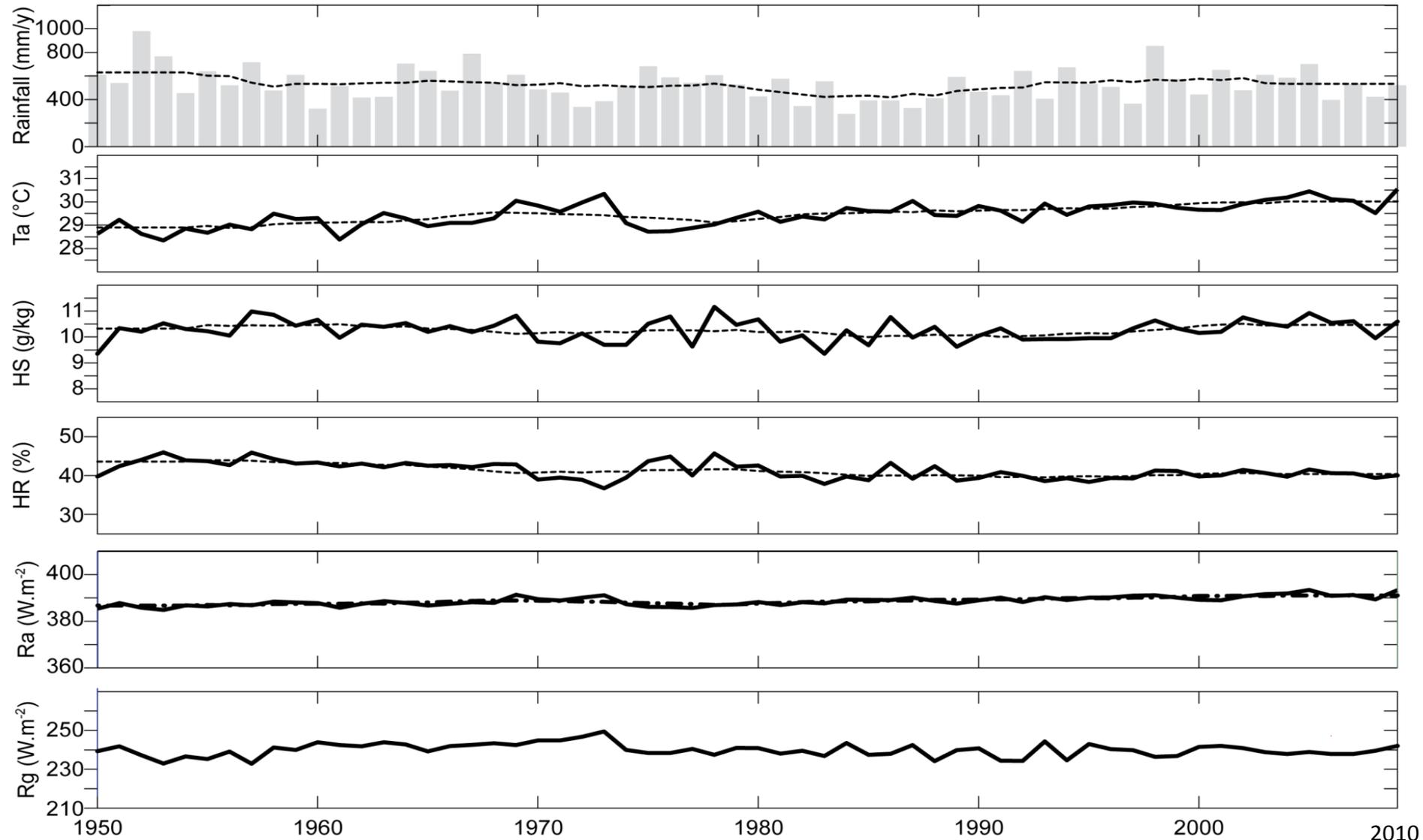


Scenario	P (mm.yr ⁻¹)	Δ Ta (°C)	E (mm.yr ⁻¹)	T (mm.yr ⁻¹)	R (mm.yr ⁻¹)	D (mm.yr ⁻¹)
Sc0	540±127	29.7± 0.3	313(387/253)	147(222/88)	71(182/15)	9(105/0)
Sc1	460± 110	1.5	-28	-24	-19	-9
Sc2	460± 110	3.5	-17	-35	-19	-9
Sc3	540± 127	2	8	-4	-1	-3
Sc4	540± 127	4	18	-13	-1	-4
Sc5	585± 157	1.2	23	4	11	8
Sc6	585± 157	3.2	33	-2	11	4
Mean Δ			+6	-12	-3	-2

Anticipation : Evolutions rétrospectives des bilans éco-hydrologiques et végétales ?

Reconstruction des séries historiques hydro-climatiques (Station Niamey – 1950-2010)

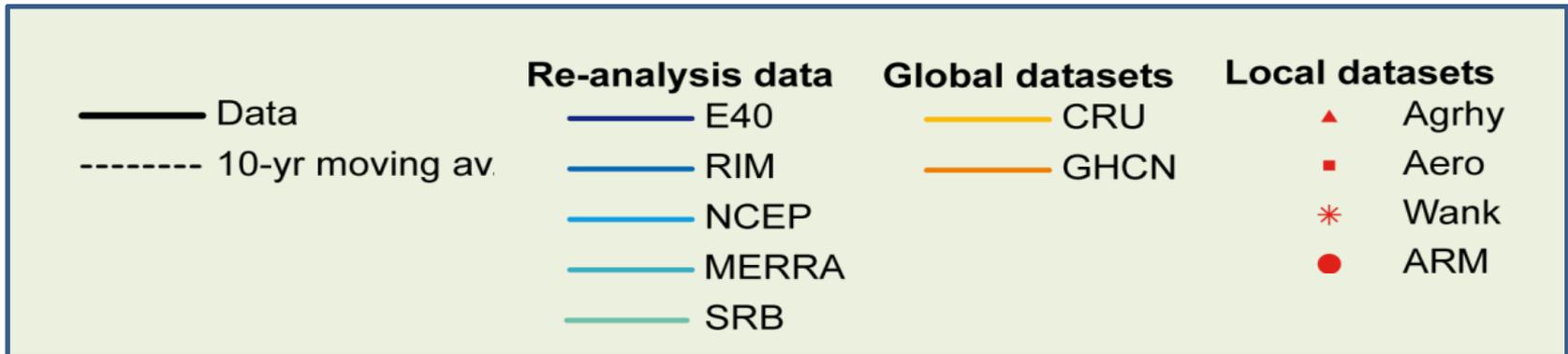
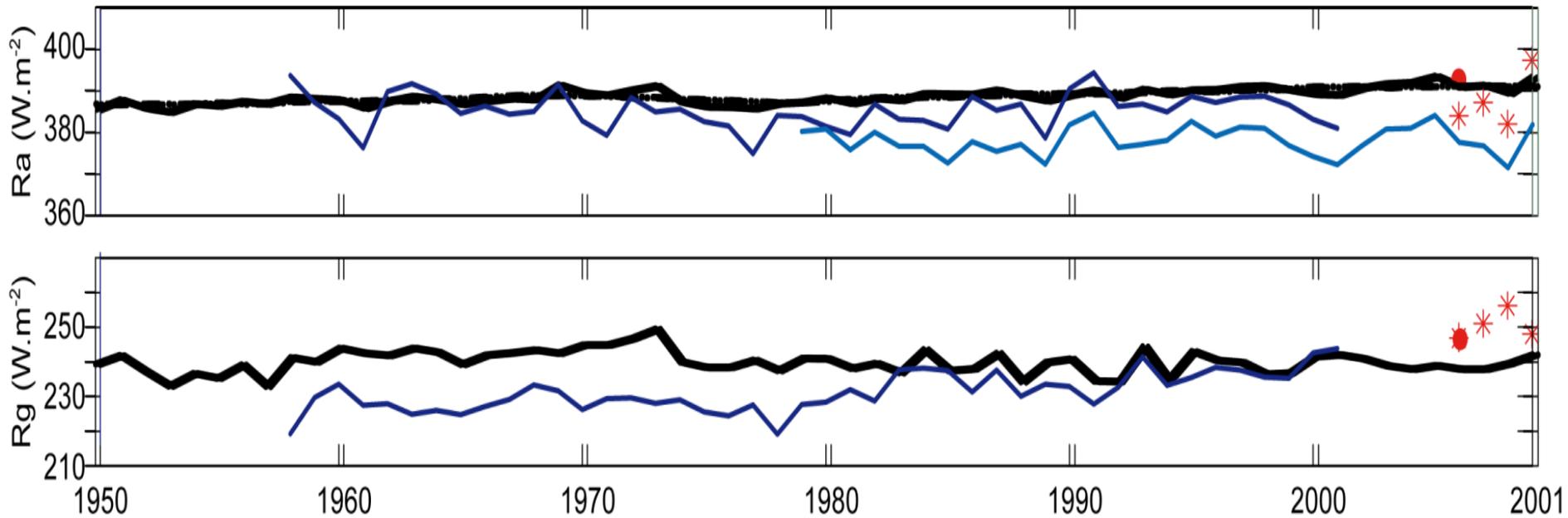
escape



Léauthaud *et al.*, en préparation

Anticipation : Evolutions rétrospectives des bilans éco-hydrologiques et végétales ?

Reconstruction des séries historiques hydro-climatiques (Station Niamey – 1950-2010)



Leauthaud et al., en préparation