

Modélisation écohydrologique en région sahélienne : Première application spatialisée du modèle SiSPAT

J. Demarty, B. Cappelaere, I. Braud, I. Bouzou Moussa, B. A. Issoufou, A. Allies, A. Dezetter

I. Mainassara, H. Barral, J.P. Chazarin, M. Oï

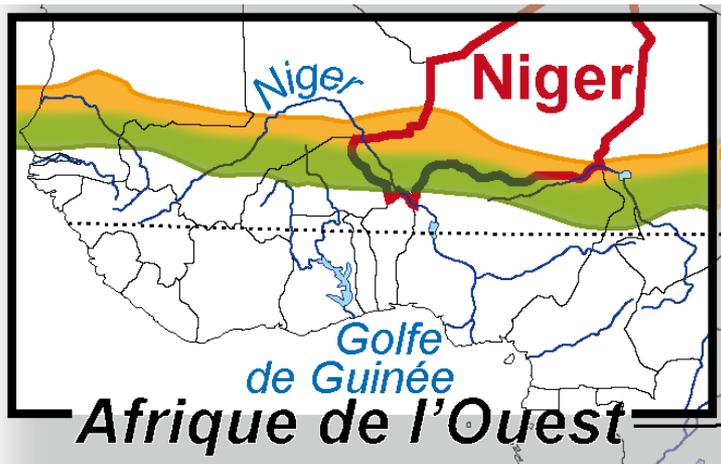


+ Réseau AMMA-CATCH

+ CES Evapotranspiration / THEIA



Suivis/évolutions des ressources hydrologiques et végétales au Sahel agropastoral ?



Climat et écosystèmes

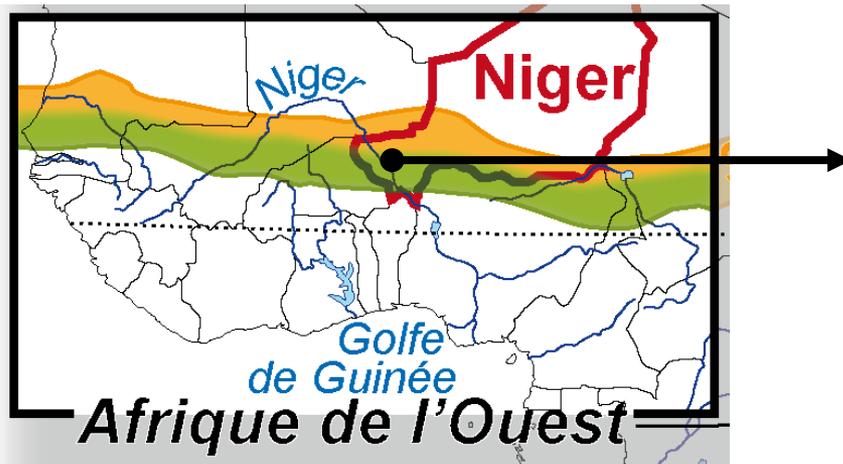
Climat semi-aride, forte demande évaporatoire : Pluie (~ 0.5 m) \ll ETP (> 2 m)

Régime de mousson : Pluies convectives et fortes variabilités annuelle & décennale

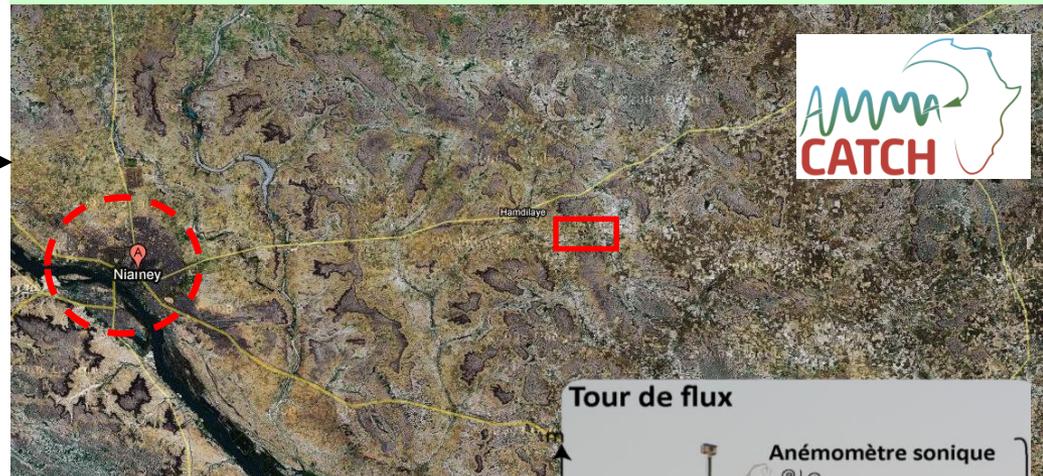
Température extrême ($> 30^\circ\text{C}$), augmentation attendue ($+4^\circ\text{C}$), adaptation végétation ?

Intensification agricole sous impact de l'augmentation démographique

Suivis/évolutions des ressources hydrologiques et végétales au Sahel agropastoral ?



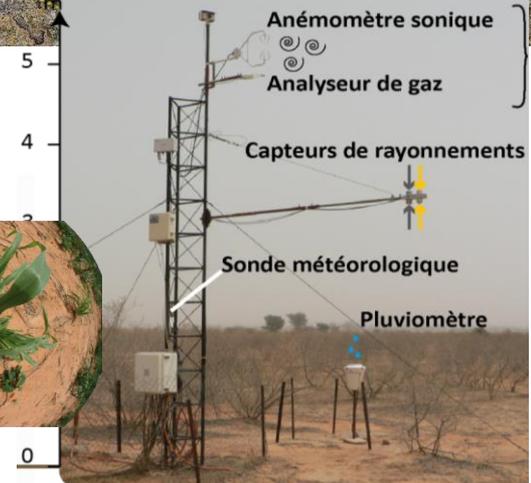
Mésosite du Sud Ouest Niger (~21000 km²)



Mésosite du Sud-Ouest Niger

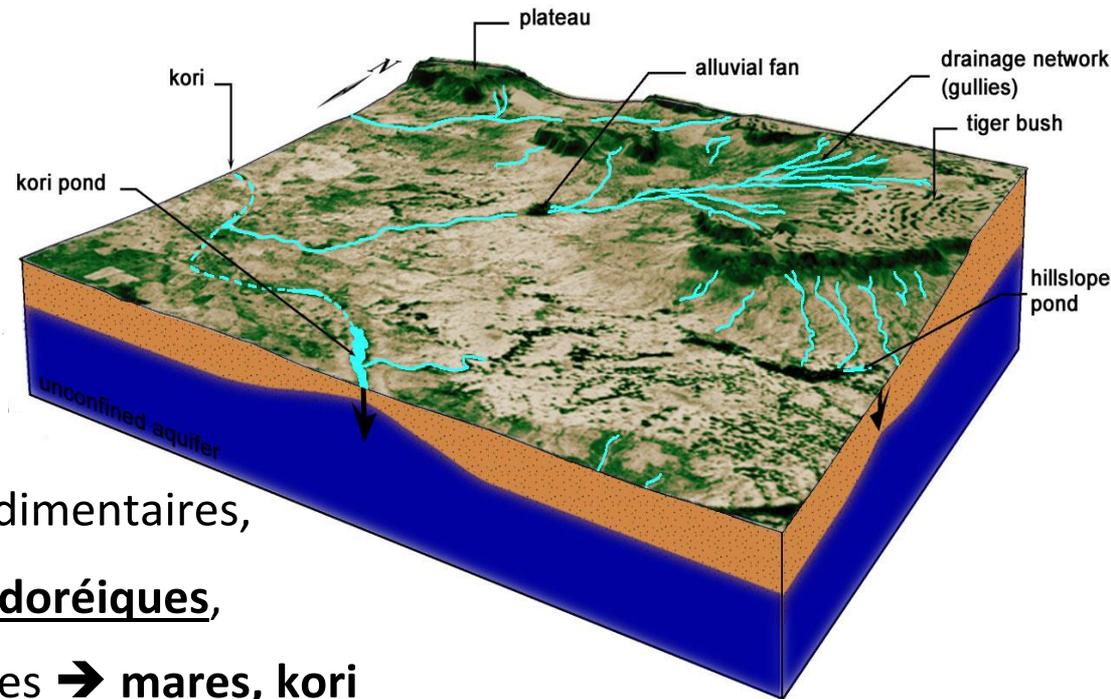
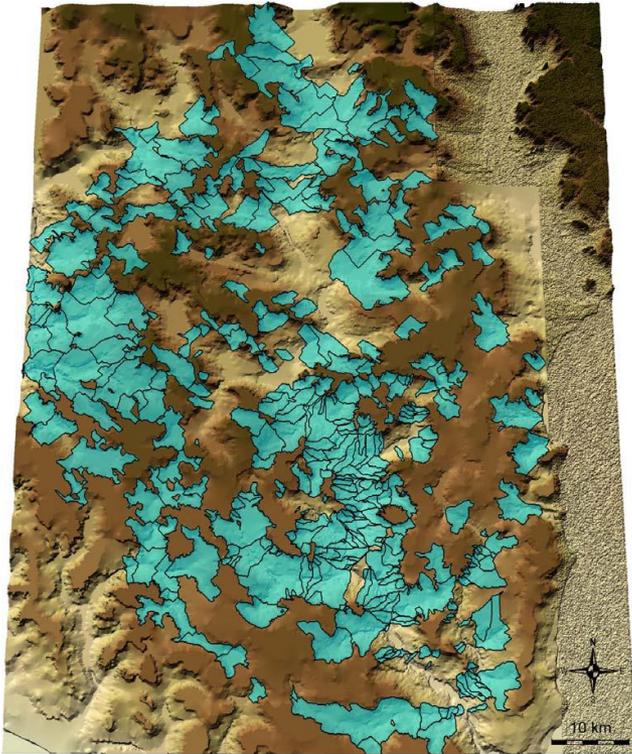
Représentatif du Sahel agropastoral
Suivi à long terme (2005-présent), mil & Jachère
Vision écohydrologique (météo, hydrologie, végétation, ...)

Tour de flux



Géomorphologie : Faible dénivelé, alternance de plateaux latérités et de dépressions/vallées fossiles

Pédologie : Sols sableux, superficiels, pauvres, érodables, propices à l'encroustement, fonctionnement hortonien



Hydro(géo)logie : Aquifères sédimentaires, nappe ↑ depuis ~1950s, bassins endoréiques, écoulements intermittents → ravines → mares, kori

Ecosystèmes : Pluvial, anthropisé, extensif, rotation mil / jachère arbustive

Développement d'une modélisation échohydrologique au Sahel agropastoral

Critères de choix du modèle

1. Modélisation des cycles couplés de l'eau et de l'énergie (ETR)

- Modélisation de type SVAT spatialisée, avec prise en compte endoréisme

2. Représentation détaillée des transferts thermo-hydriques dans le sol

- Importance de la **croûte** de surface pour les processus évaporation-infiltration :
Sud-Ouest Niger (Braud *et al.*, 1997, Peugeot *et al.*, 1997)
- Importance des **transferts en phase vapeur** pour l'évaporation (Boulet *et al.*, 1999)

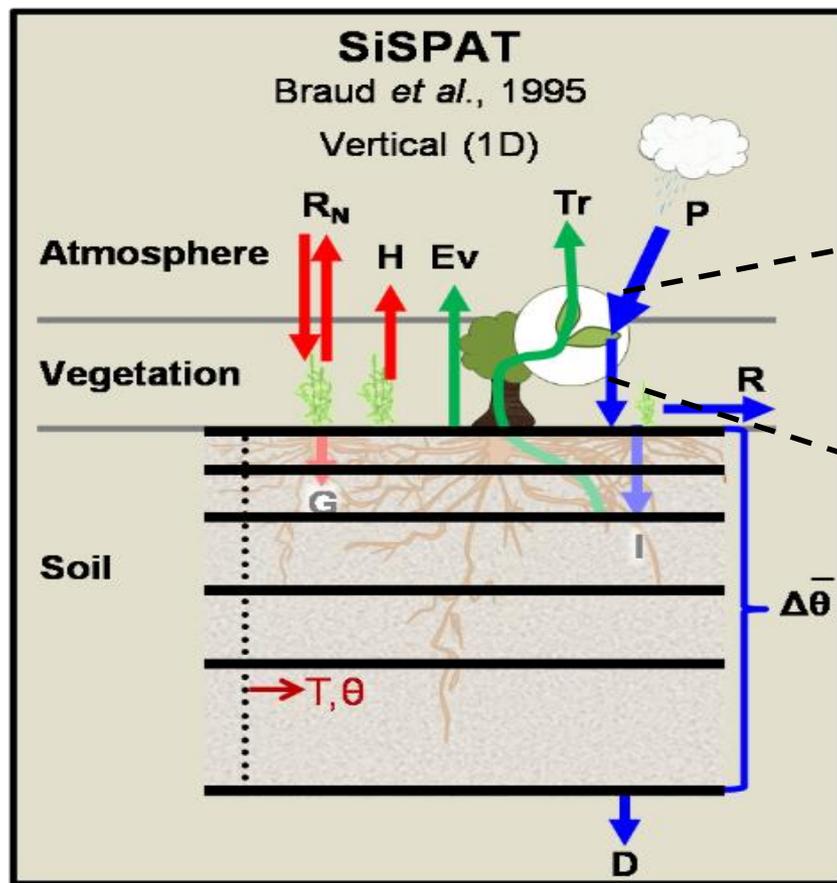
3. Séparation des composantes évaporation du sol et transpiration des plantes :

- Approche bi-couche
- Représentation hydraulique de la végétation : régulation stomatique, évolution saisonnière des systèmes foliaire et racinaire

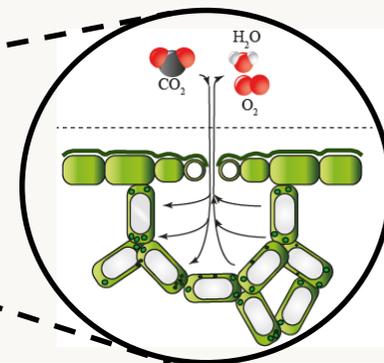
4. Lien avec la télédétection spatiale (micro-onde, IRT, visible)

Développement d'une modélisation échohydrologique au Sahel agropastoral

Apport du modèle SiSPAT-RS (Cycles énergie et eau + lien avec télédétection)



A-g_s (Jacobs, 1994)



Régulation stomatique et
photosynthèse

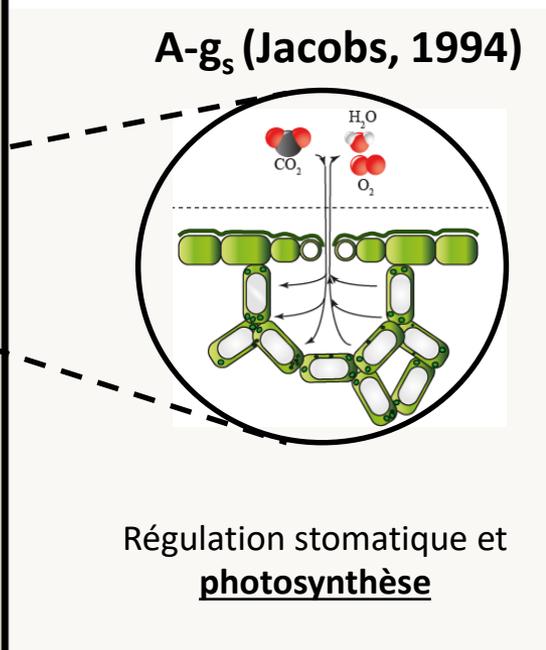
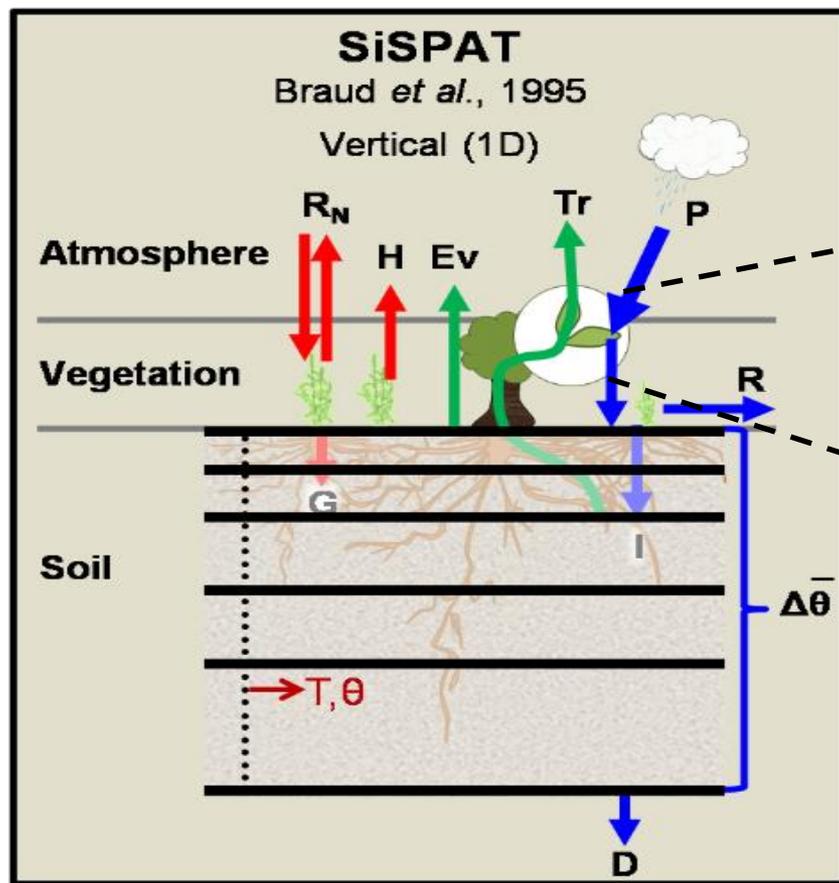
Allies, 2015

Velluet et al., 2014

- Echanges couplés chaleur & eau, en phase liquide & vapeur
- Hétérogénéités structurelle/texturale du sol + extraction racinaire explicite
- Photosynthèse et assimilation du carbone par les feuilles (GPP)

Développement d'une modélisation échohydrologique au Sahel agropastoral

Apport du modèle SiSPAT-RS (Cycles énergie et eau + lien avec télédétection)



Allies, 2015

Velluet et al., 2014

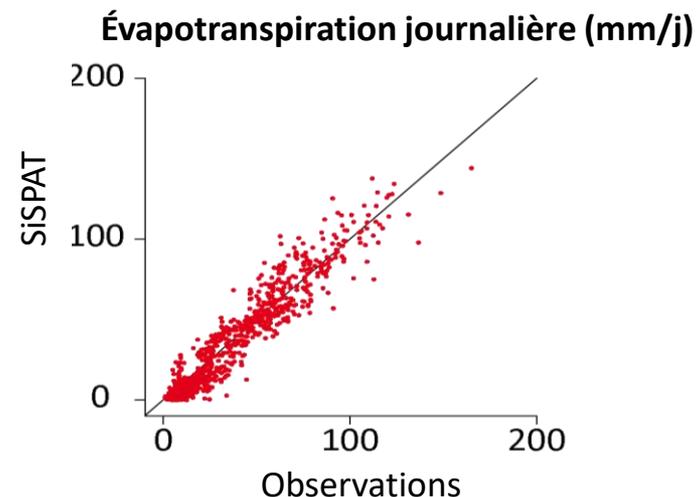
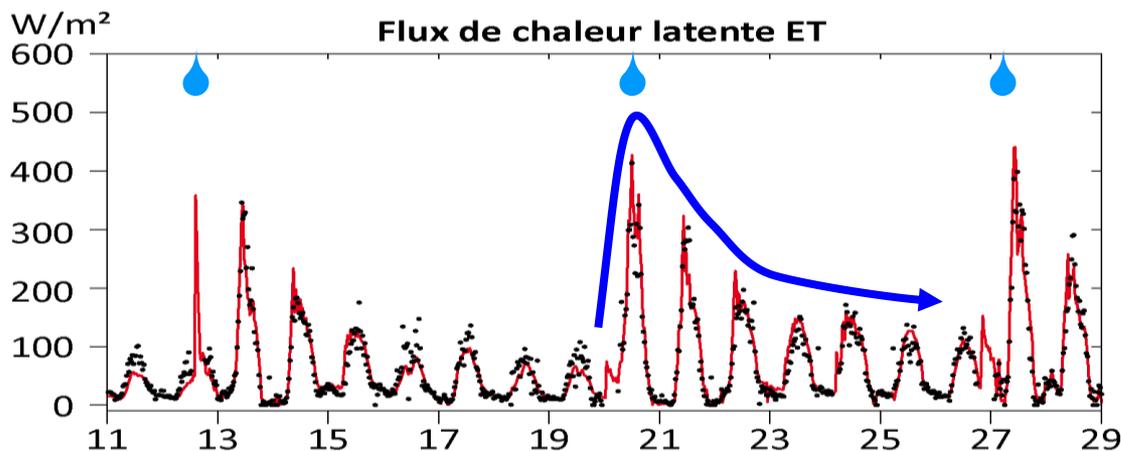
- Temps de calculs → Nombre de nœuds de calcul, pas de calcul
- Paramétrage → Propriétés hydrodynamiques du sol et profil racinaire
- Modèle de recherche → Peu d'utilisateurs, études à échelle locale

2) - Développement d'une modélisation échohydrologique au Sahel agropastoral

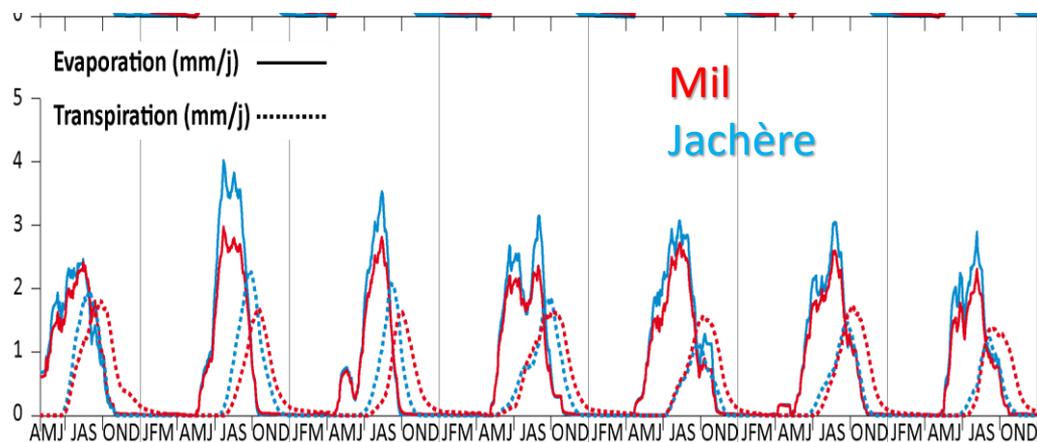
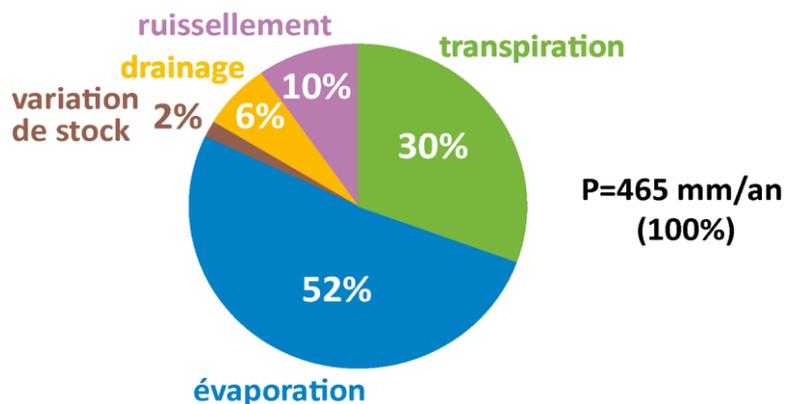
Performances et intérêt du modèle SiSPAT à échelle locale

Velluet, HESS, 2014 Leauthaud, IJC, 2017

Apports des observations in situ pour l'évaluation du modèle



Apport du modèle pour quantifier les bilans d'eau/énergie et processus

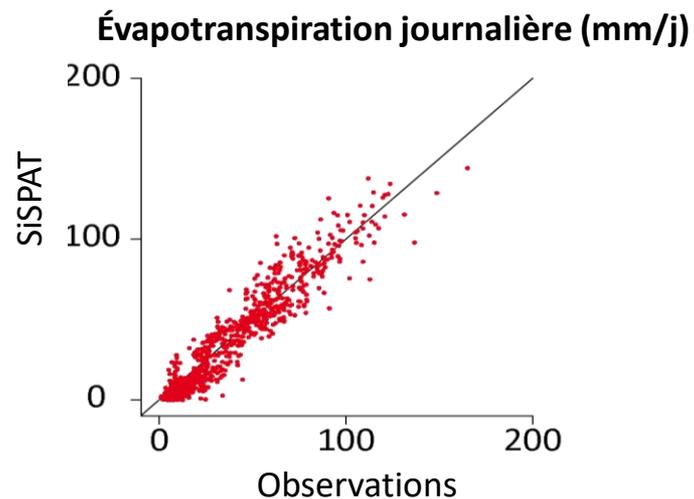
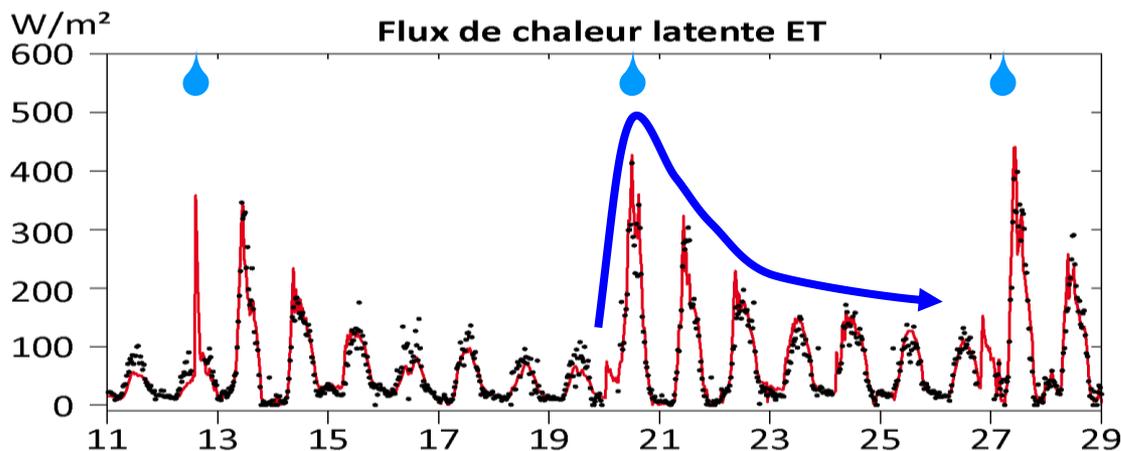


2) - Développement d'une modélisation échohydrologique au Sahel agropastoral

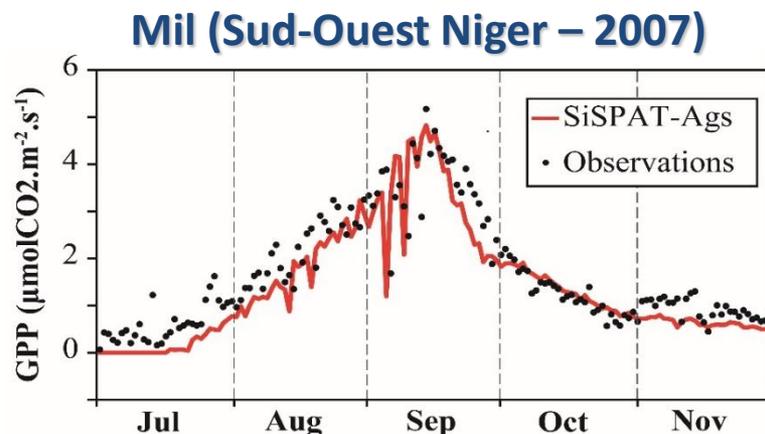
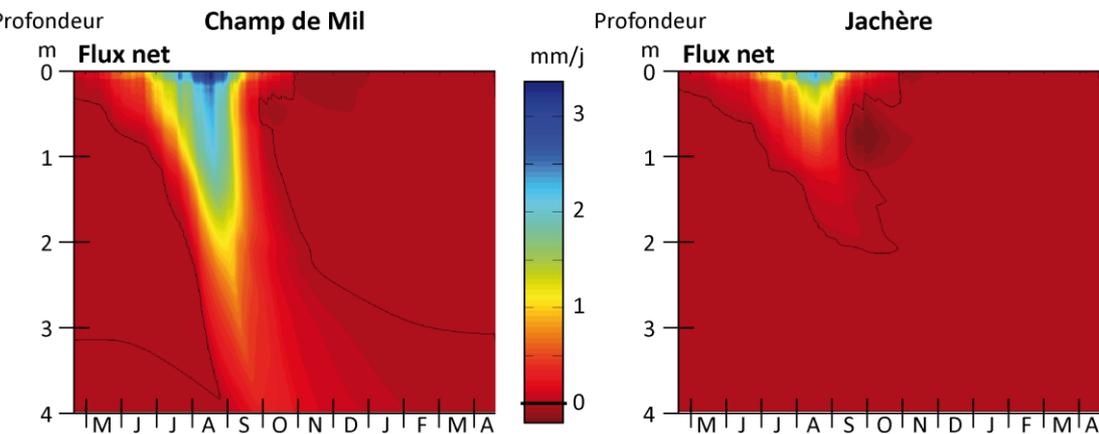
Performances et intérêt du modèle de référence (SiSPAT – 2005-2011)

Velluet, HESS, 2014

Apports des observations in situ pour l'évaluation du modèle

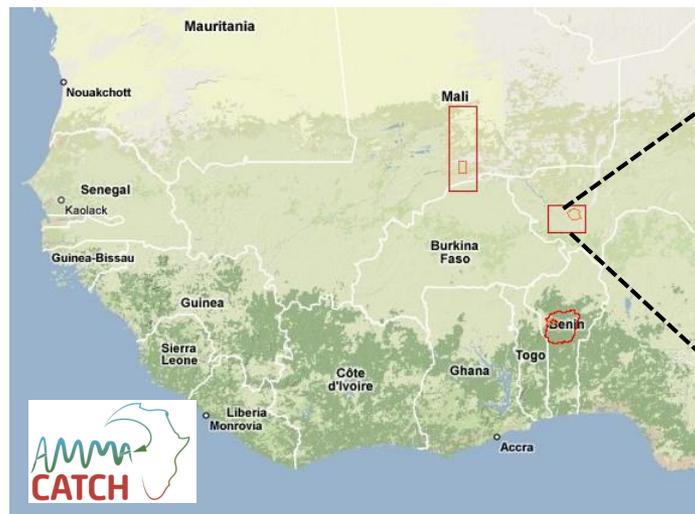


Apport du modèle pour quantifier les bilans d'eau/énergie et processus

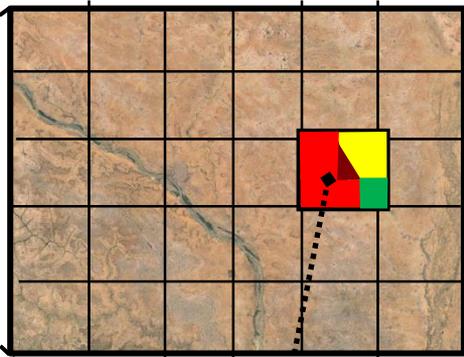


2) - Développement d'une modélisation échohydrologique au Sahel agropastoral

Première application du modèle à méso-échelle (2005-présent, de 1 à 25km²)



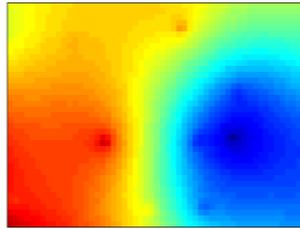
Sud-Ouest Niger (21 000km²)



832 pixels

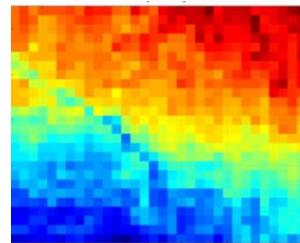
Précipitations

SNO AMMA CATCH
(1 à 25km²)



Météo / Rayt

ECMWF – ERA5
(25km²)

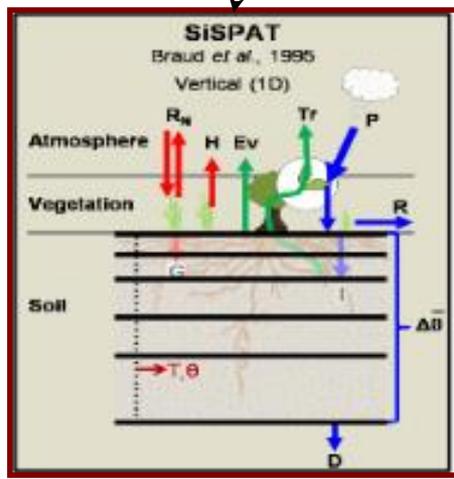
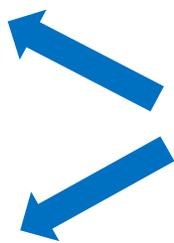


Applications 1 et 2

Pleine fenêtre - 25 km² - 2005-2017
Version « Tuilée » - Local ou SOILGRIDS
(~2850 simulations)

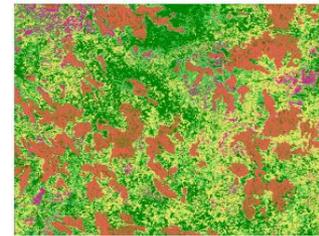
Application 3

Zone réduite (25%) = Dalle SPOT5
1km² - 2005-2008
Version PFT dominant
(~5850 simulations)



Occupation des sols

GEOV1 (1km)
SPOT5 (5m)

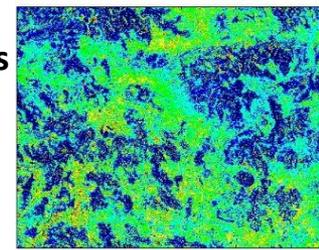


Albédo + LAI

GEOV1 (1km)

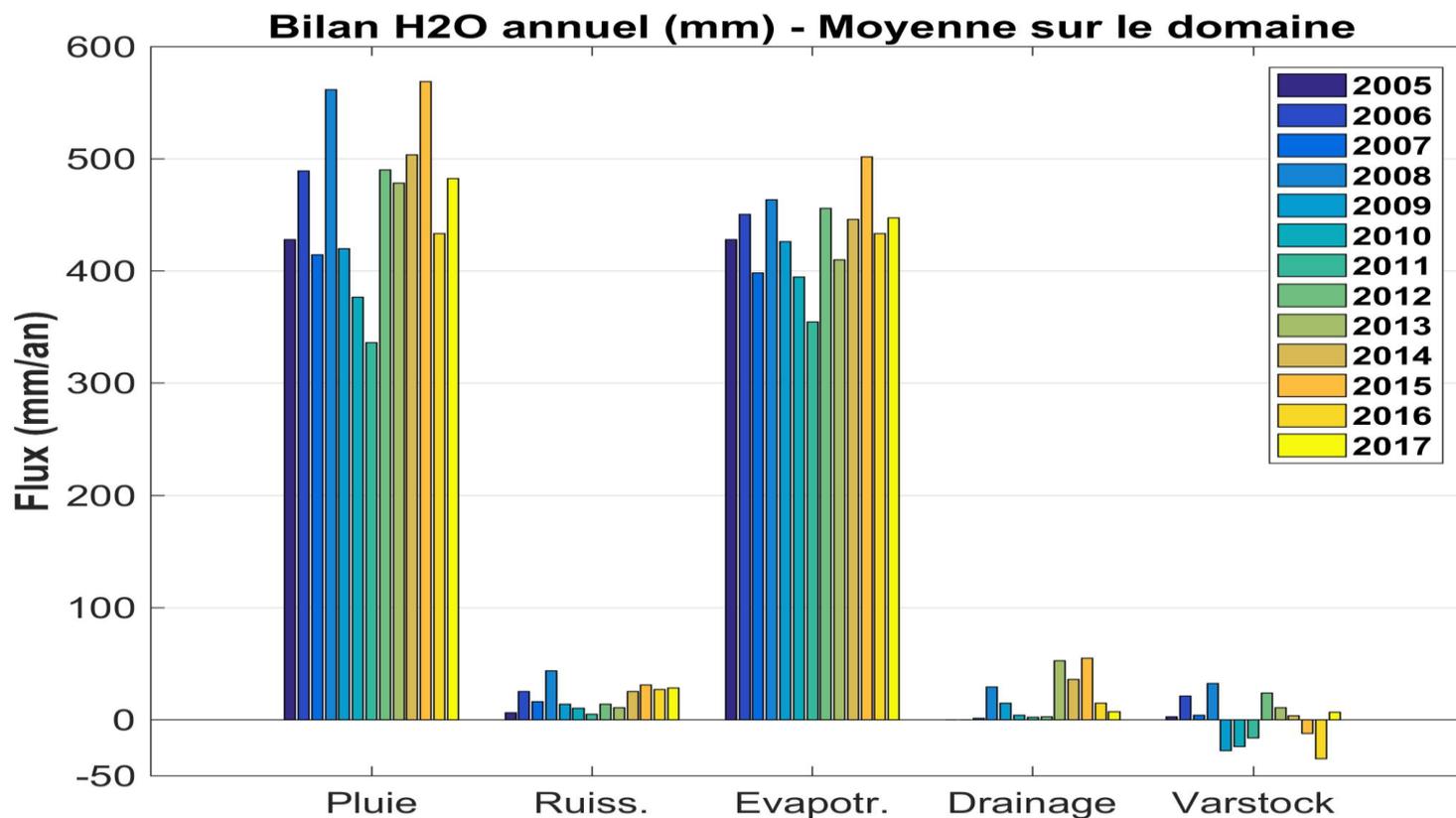
Propriétés sols

SOILGRIDS (1km)
ou
LOCAL spatialisé



2) - Développement d'une modélisation échohydrologique au Sahel agropastoral

Première application du modèle à méso-échelle (2005-présent)



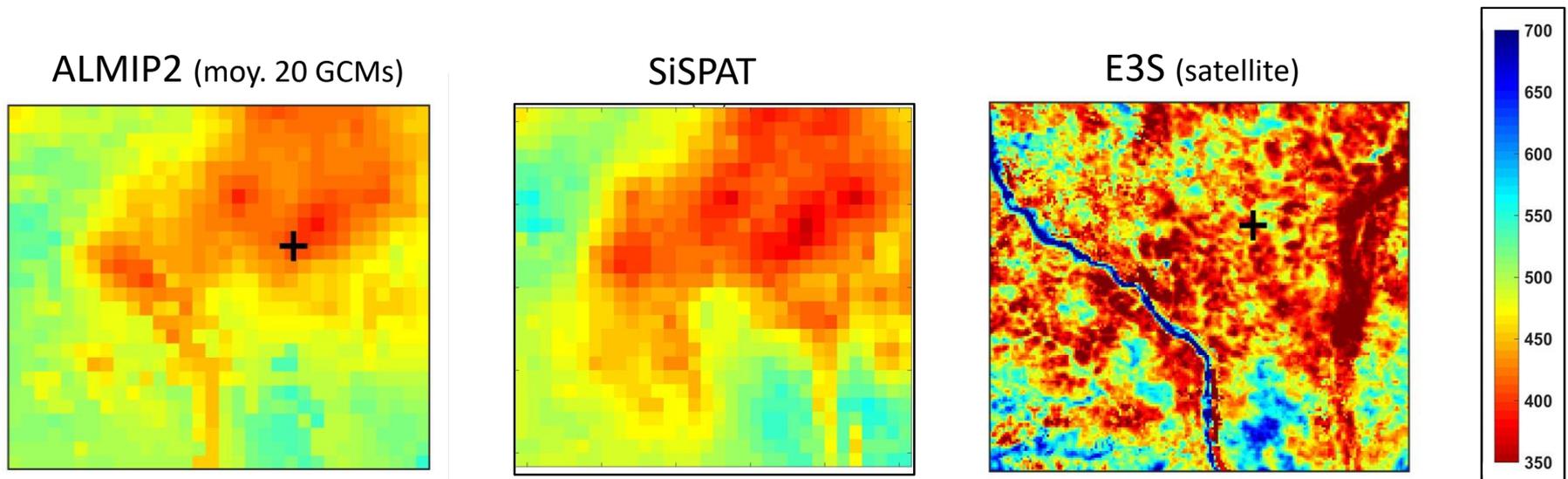
- ETR : $\sim 93\%$ P \rightarrow Interactions surface-atmosphère, ré-essuyage surface
- Runoff : $\sim 4\%$ P \rightarrow Réseau et infiltration \rightarrow 7% max de recharge des nappes ($\sim 30\text{mm}/\text{an}$)
- Variation de stock \rightarrow Faible, mais existante

2) - Développement d'une modélisation échohydrologique au Sahel agropastoral

Première application du modèle à méso-échelle (2005-présent)

Premières évaluations de l'évapotranspiration

Exemple : Année ETR annuelle 2007 vs autres modélisation et produits satellites



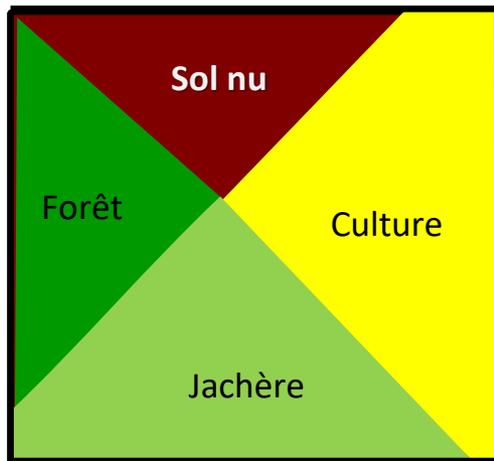
- Carte ETR est fortement corrélée à la carte de pluie, et aussi à celle d'albédo
- Similitude spatiale avec la moyenne ensemble de l'expérience ALMIP2
- Produits satellites faisant le plus référence montre un grand contraste spatial

2) - Développement d'une modélisation échohydrologique au Sahel agropastoral

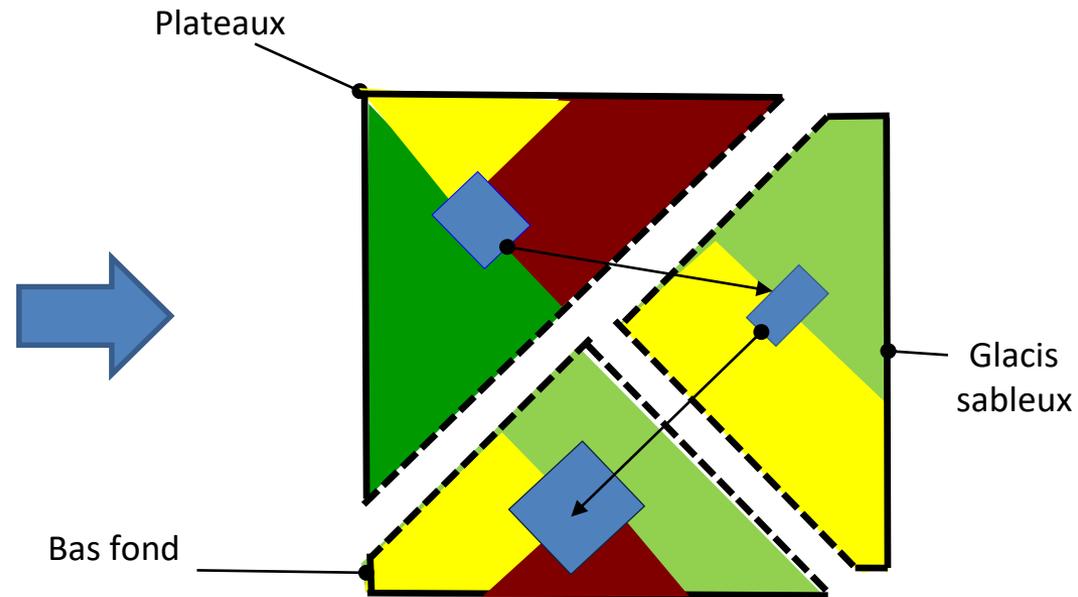
Evolutions en cours

Vers une prise en compte explicite

- Points de recharge directe (mares de plateaux, zone épandage, ravines)
- Points de recharge indirecte (mares de kori) de la nappe
- Routage du ruissellement (réseau de ravines, endoréisme)



4 PFTs indépendants



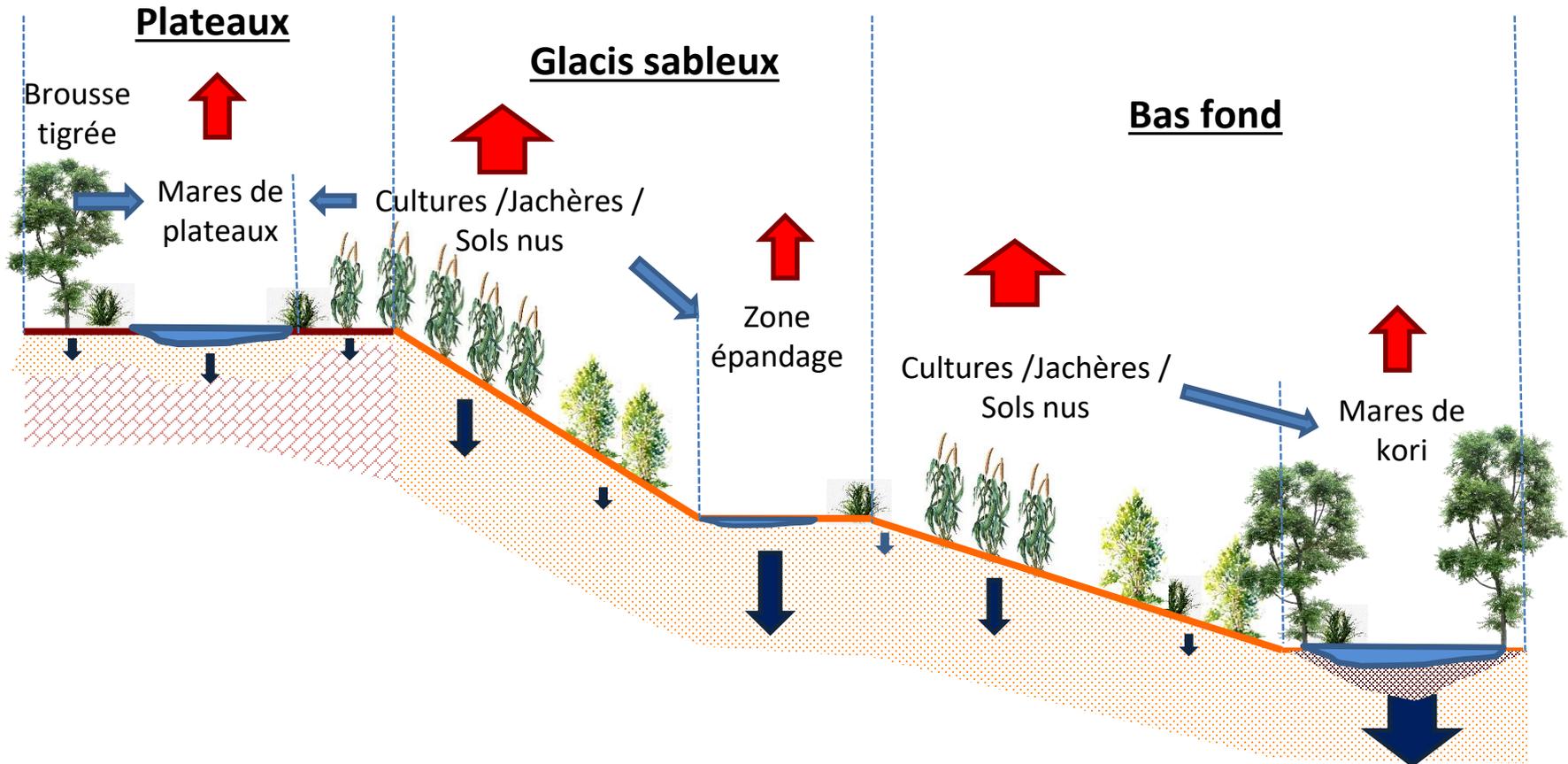
3 entités hydrologiques de 5 PFTs, avec routage du ruissellement vers et entre les mares

2) - Développement d'une modélisation échohydrologique au Sahel agropastoral

Evolutions en cours

Vers une prise en compte explicite

- Points de recharge directe (mares de plateaux, zone épandage, ravines)
- Points de recharge indirecte (mares de kori) de la nappe
- Routage du ruissellement (réseau de ravines, endoréisme)



Conclusions /perspectives

- Au Sahel, le fonctionnement de l'interface SVA est crucial pour :
 - la production des ressources en eau et des ressources végétales
 - la dynamique de la mousson et de la pluie
- Caractère irréaliste de la plupart des LSMs/GCM et des produits satellites globaux
 - tant à l'échelle locale qu'en régional
 - processus mal représentés, prescription des propriétés de surface
- Prise en compte des états de surface semble indispensable pour arriver à représenter le fonctionnement hydrologique en zone sédimentaire (sols sableux encroutés, endoréisme,).
- Modèle du type SiSPAT est adapté à échelle locale. Travail en cours pour voir si la modélisation reste pertinente à échelle méso (critère de robustesse). Premiers test encourageant, avec évolutions en cours :
 - Comportement hydrologique spécifique à la zone endoréique
 - Interactions hydrologie-végétation (développement végétation, cycle du carbone)
- Approche intégrée (Obs - Modèles - Produits sat) est une voie pertinente pour améliorer les estimations des flux régionaux au Sahel, notamment pour renseigner/contraindre les propriétés de surface