

Modélisation des processus de surface dans le Sahel Cultivé

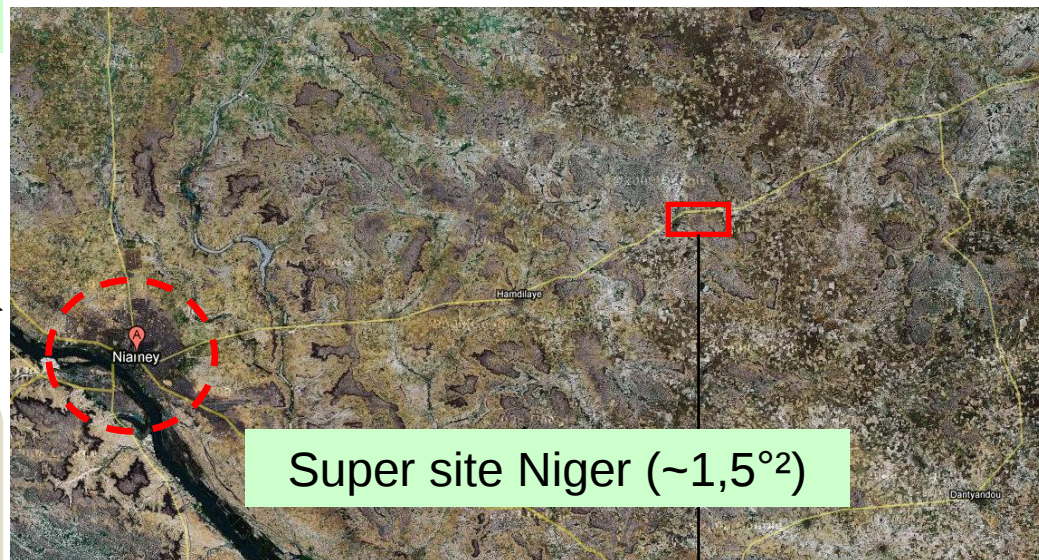
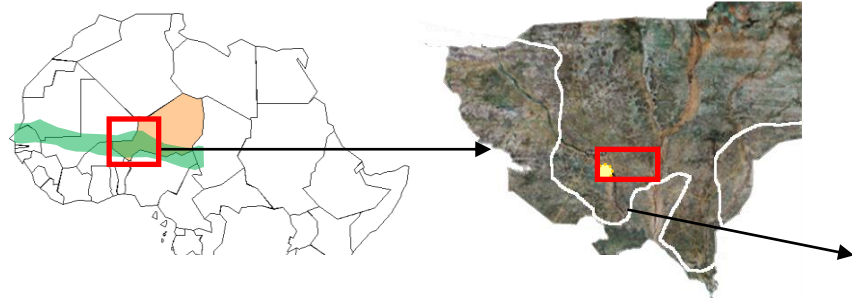
C. VELLUET, J. DEMARTY, B. CAPPELAERE, I. BRAUD , N. BOULAIN,
H. B.-A. ISSOUFOU, A. MAHAMANE, I. MAINASSARA,
J.-P. CHAZARIN, M. Oï



Supersite Niger (1.5°² - ORE AMMA Catch)

Sahel

Sud-Ouest Niger



Super site Niger (~1,5°²)

■ Climat sahélien (tropical semi-aride)

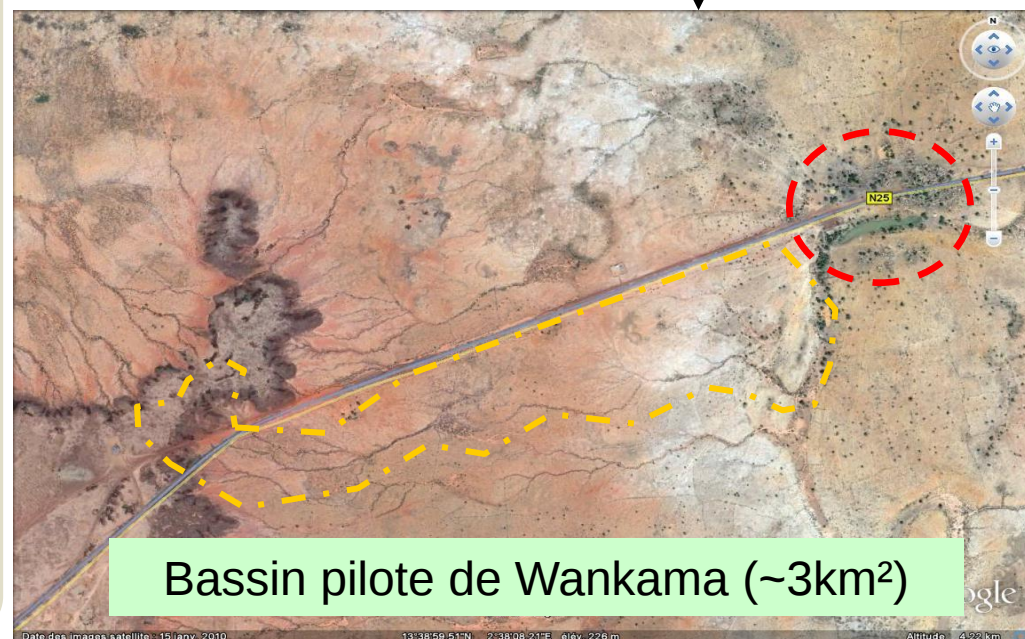
- Précipitations : 400-600 mm/an
- ETP : > 2000 mm/an
- Température moy. : ~30°C

■ Hydrologie et sols:

- Sablonneux, fort encrouement
- Endoréisme généralisé
- Paradoxe (Nappe ↗ et P ↘)

■ Principaux écosystèmes :

- Culture de mil
- Jachère arbustive



Bassin pilote de Wankama (~3km²)

« Wankama » : un bassin typique du Sahel cultivé (2005-présent, HSM-LTHE-GET)

Culture (Mil + guiera)



Jachère (Guiera + herbacées)



Sols peu végétalisés, encroutés et lessivés



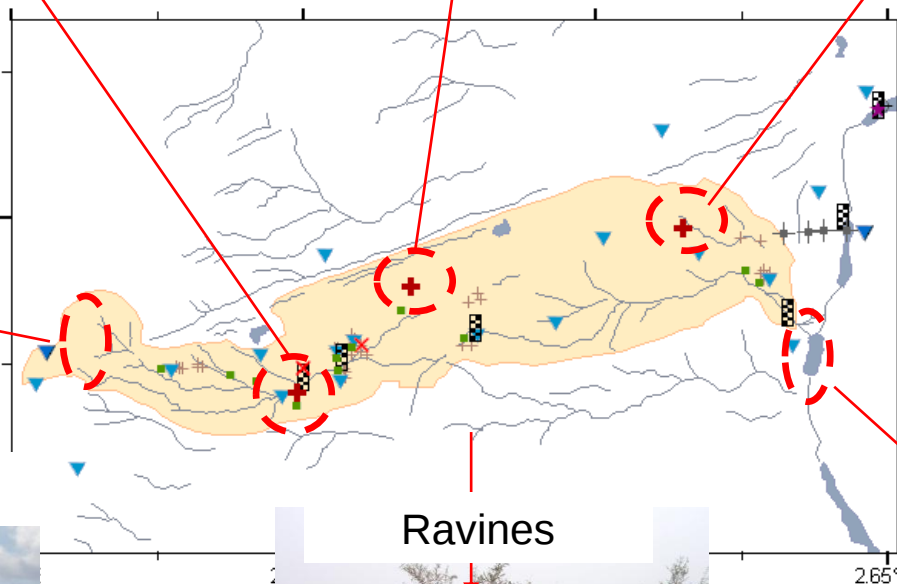
Brousse tigrée



Rares arbres isolés



Ravines



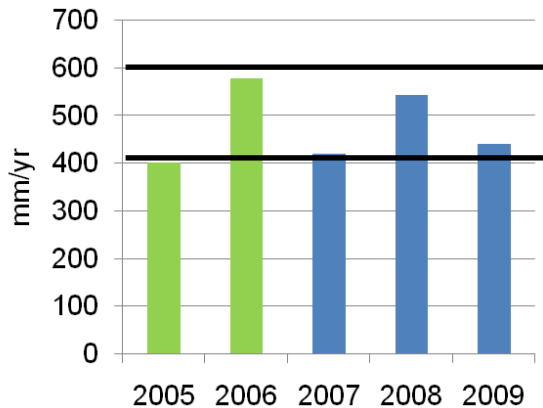
- Automatic rain gauge
- 1-day rain gauge
- Well
- Piezometric stage recorder
- Eddy flux/ meteo station
- Evaporation pan
- Streamflow/pond stage recorder
- Soil moisture profiles
- Neutron access tube
- Vegetation plot
- Gully
- Pond
- Watershed



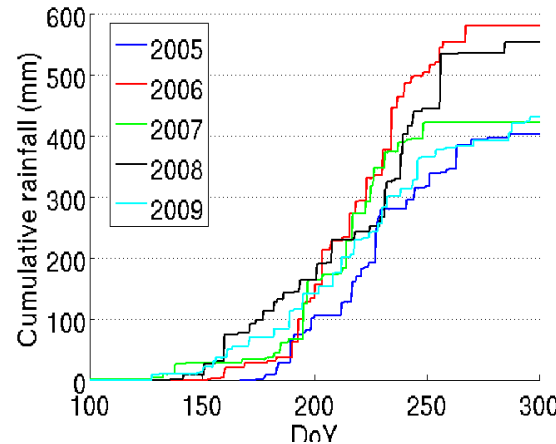
Mares

8 ans d'observations éco-hydrologiques à Wankama : Quelques tendances

Cumulative rainfall



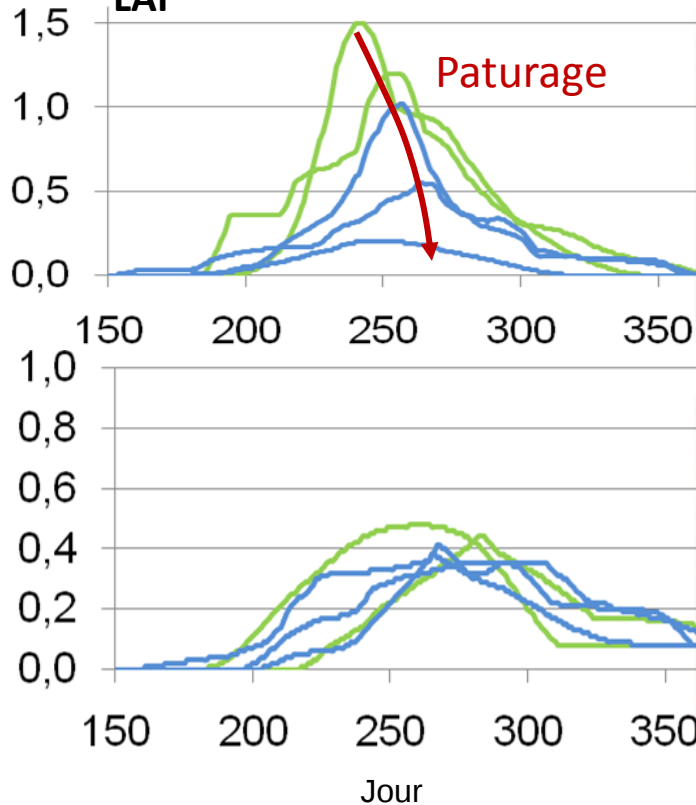
Millet



Précipitations

- Variabilité interannuelle comparable avec la variabilité inter-décennale (400-600 mm/an)
- Distributions interannuelle très contrastées (intensité, nombre d'évènements, phasage)

LAI

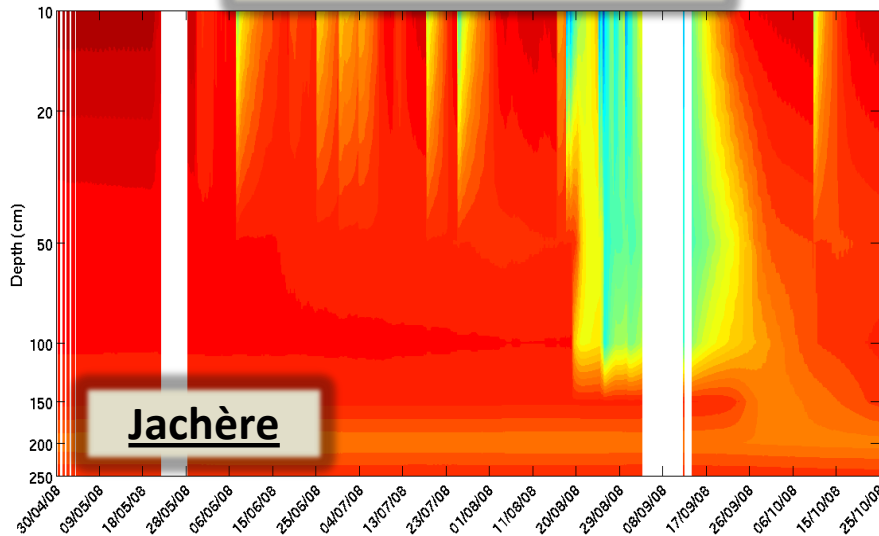


Végétation

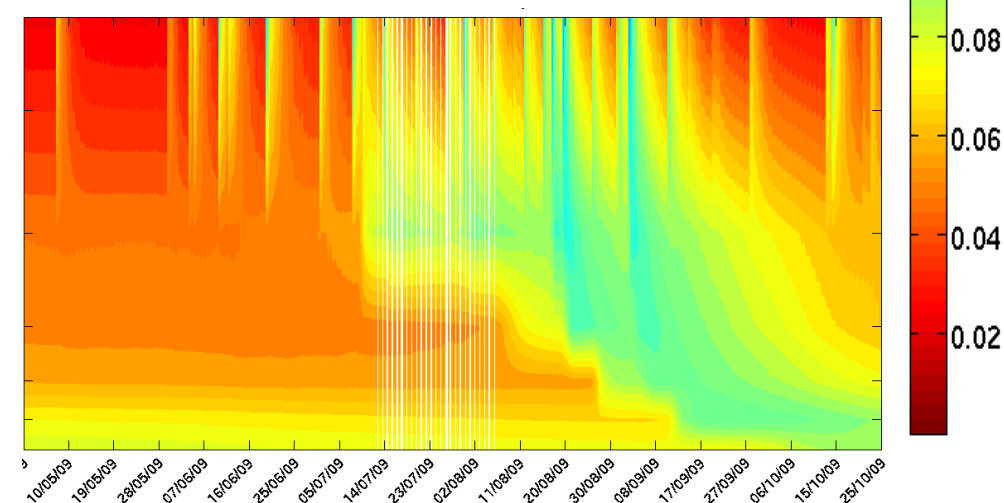
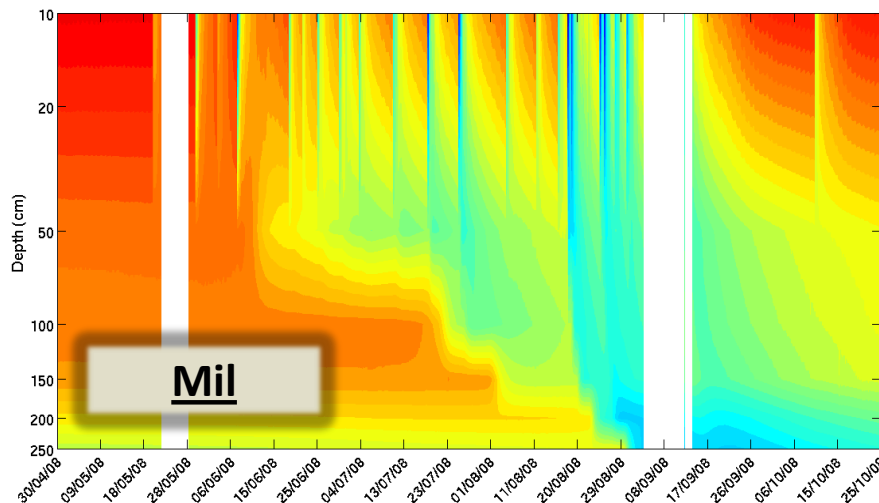
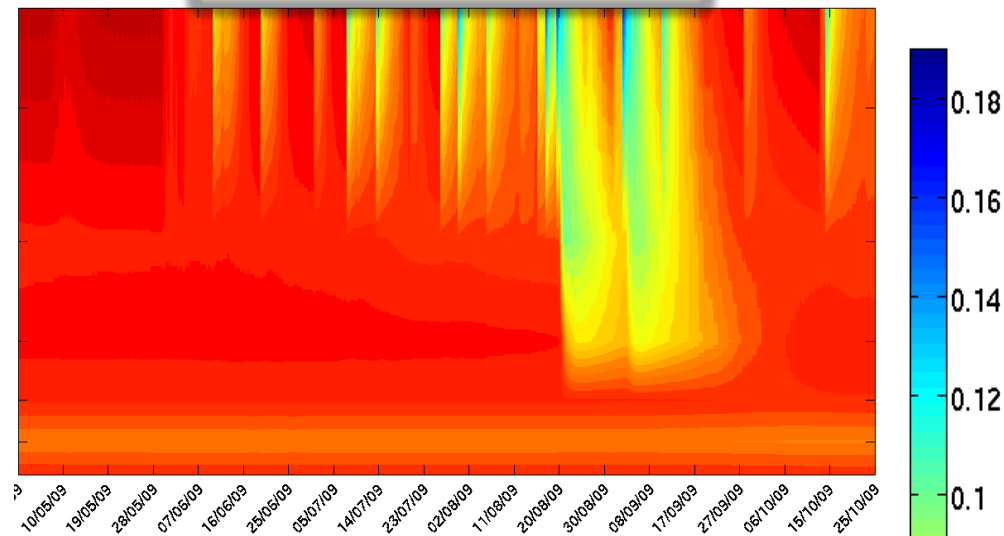
- Dynamique saisonnière dépend fortement du climat et de la pression anthropique → Pâturage et bio-agresseurs
- Dynamique saisonnière moins variable sur mil → travail du sol, parcelles protégées
- Présence systématique de repousses d'arbustes en feuillaison, tard en saison sèche

8 ans d'observations éco-hydrologiques à Wankama : Quelques tendances

2008 (année humide)



2009 (année sèche)



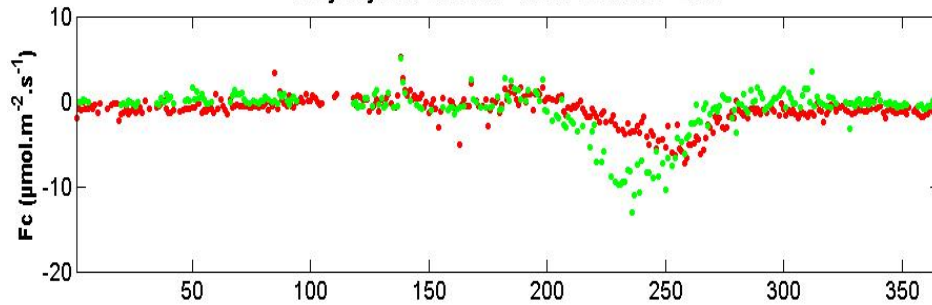
Profil d'humidité du sol (sondes capacitives)

- Jachère : Peu de variabilité interannuelle, peu d'infiltration au delà de 150cm → Croutes ?
- Mil : Forte variabilité interannuelle jusqu'à 250 cm → Recharge des nappes?

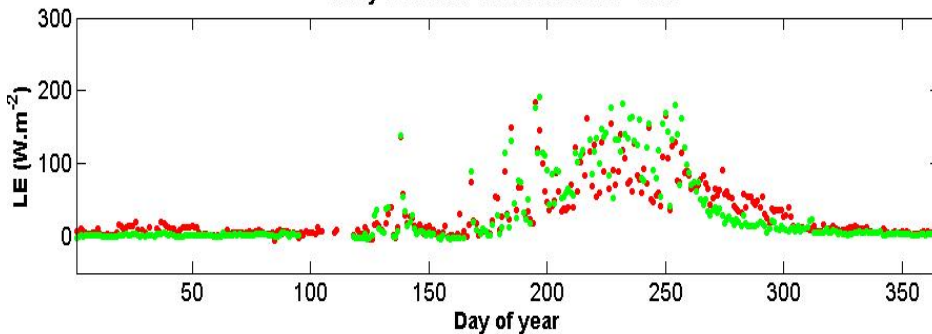
8 ans d'observations éco-hydrologiques à Wankama : Quelques tendances

2007 (année sèche)

Daily daytime CO2 flux - Millet vs Fallow - 2007

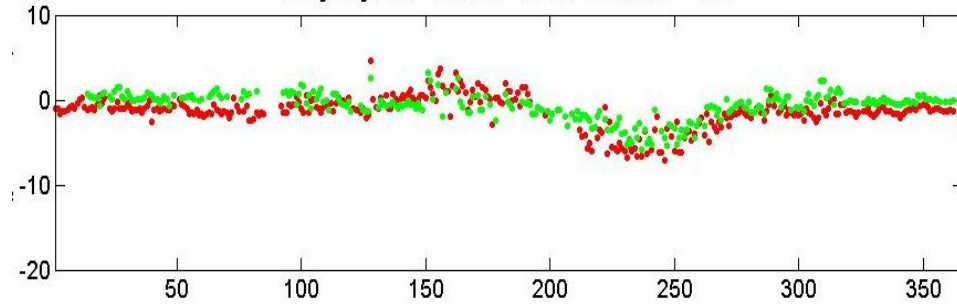


Daily H2O flux - Millet vs Fallow - 2007

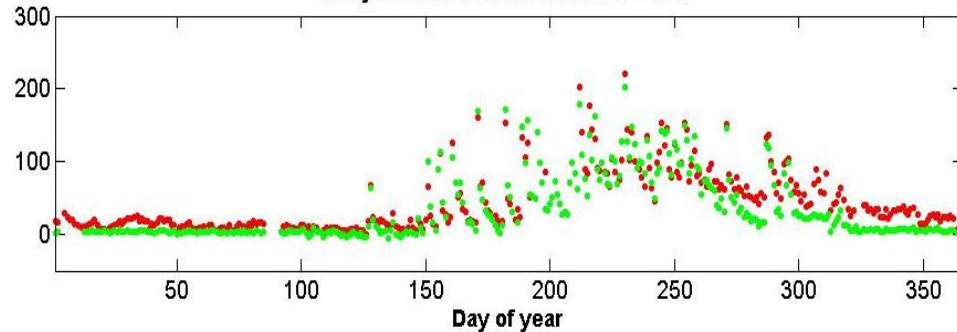


2009 (année sèche, pâturage intensif)

Daily daytime CO2 flux - Millet vs Fallow - 2009



Daily H2O flux - Millet vs Fallow - 2009



Flux d'eau et de carbone (Eddy Correlation)

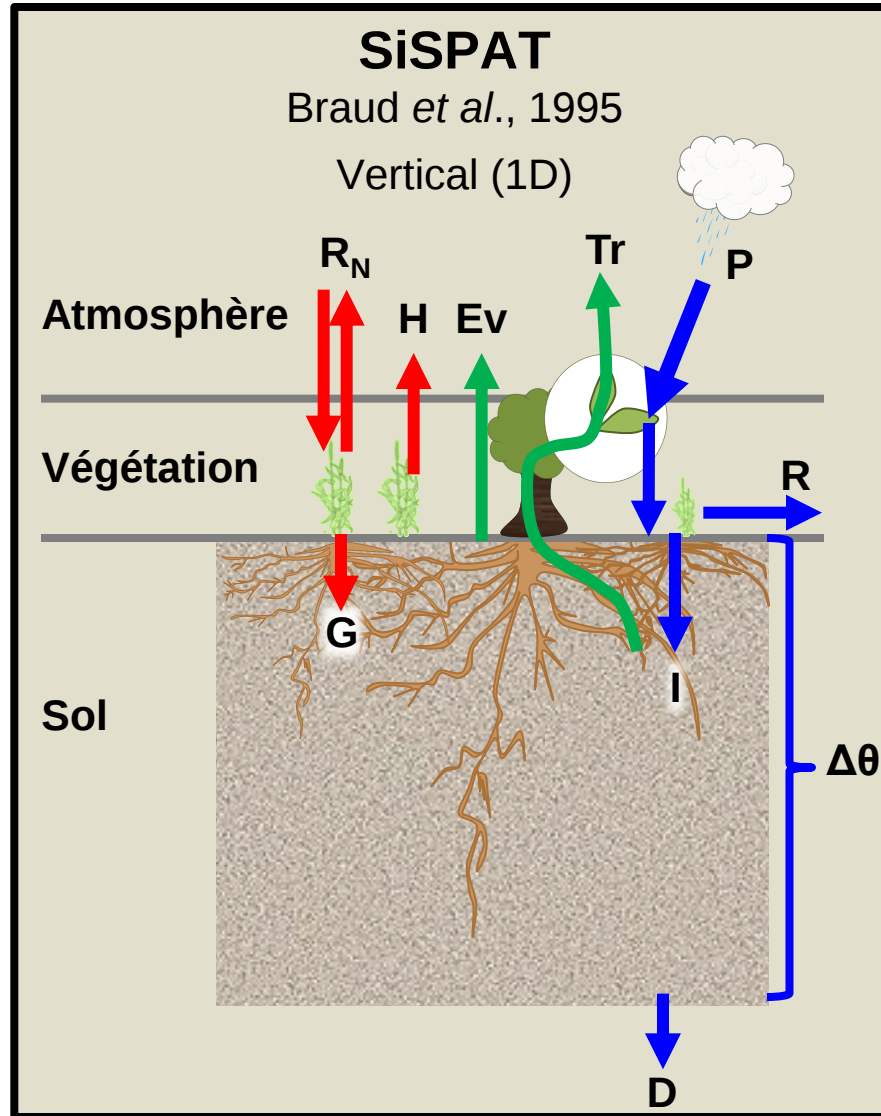
- Effet observable du pâturage
- Effet observable des repousses dans les champs de mil
- $LE_{Mil} \sim LE_{Jachère}$? → Répartition évaporation-transpiration ?

Quantification des bilans d'eau au Sahel cultivé ?

→ Modélisation adaptée aux processus dominants et aux échelles étudiées.

Ex : Echelle stationnelle, sur les 2 sites, avec prise en compte explicite des croutes

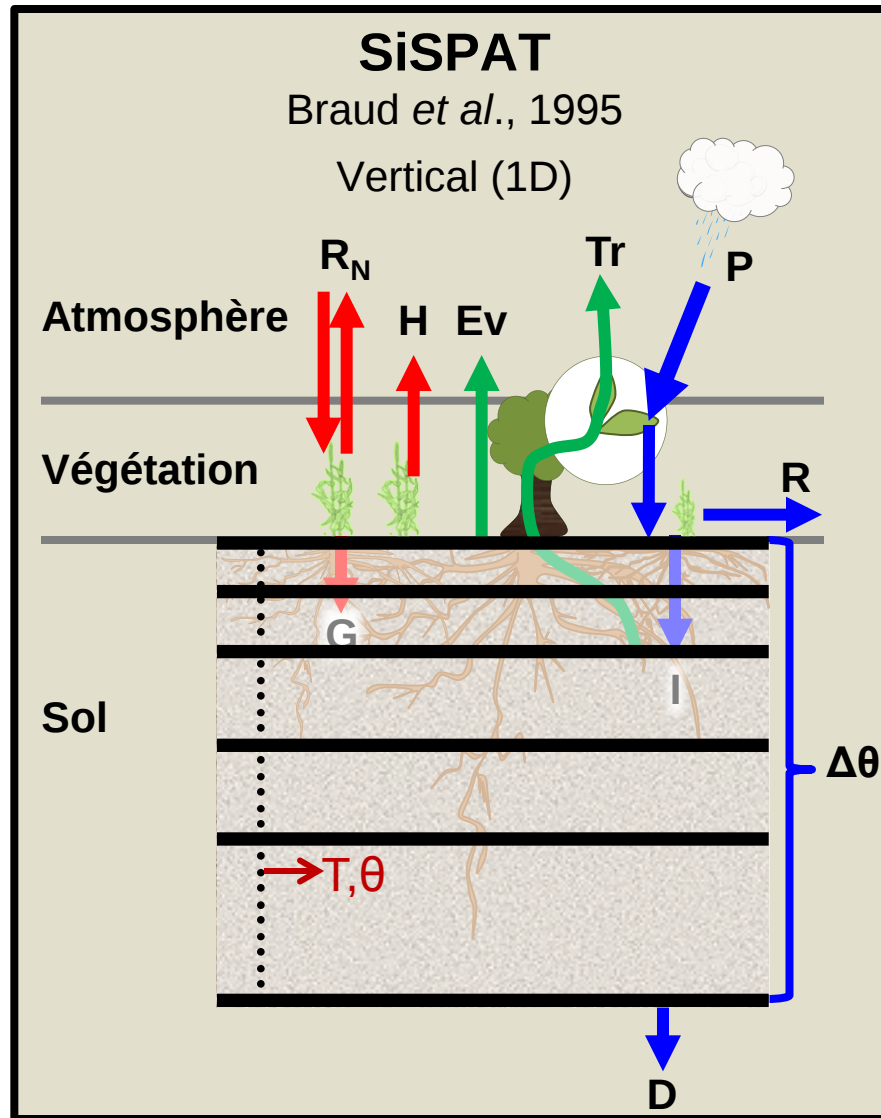
SiSPAT (Simple Soil Plant Atmosphere model, Braud et al., 1995)



Flux et stocks d'eau et d'énergie

- Ruissellement (R)
- Drainage (D)
- Stockage sol ($\Delta\theta$)
- Evapotranspiration (ET)
- Radiation nette (R_N)
- Chaleur sensible (H)
- Chaleur dans le sol (G)
- Temperature du sol (T)
- Humidité du sol (θ)

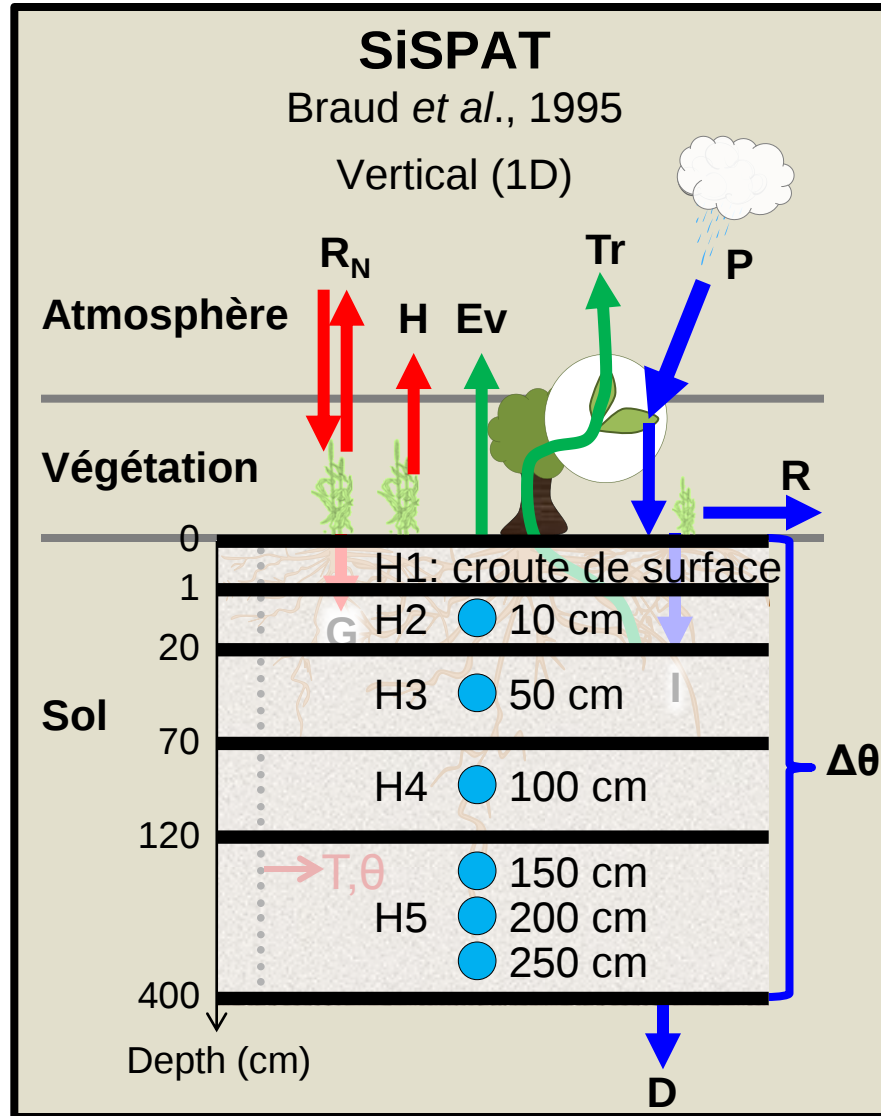
SiSPAT (Simple Soil Plant Atmosphere model, Braud et al., 1995)



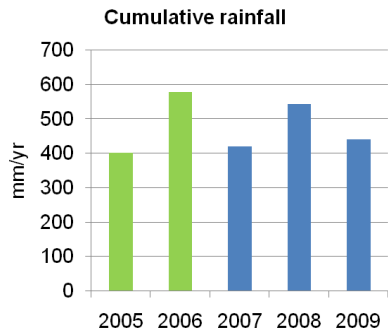
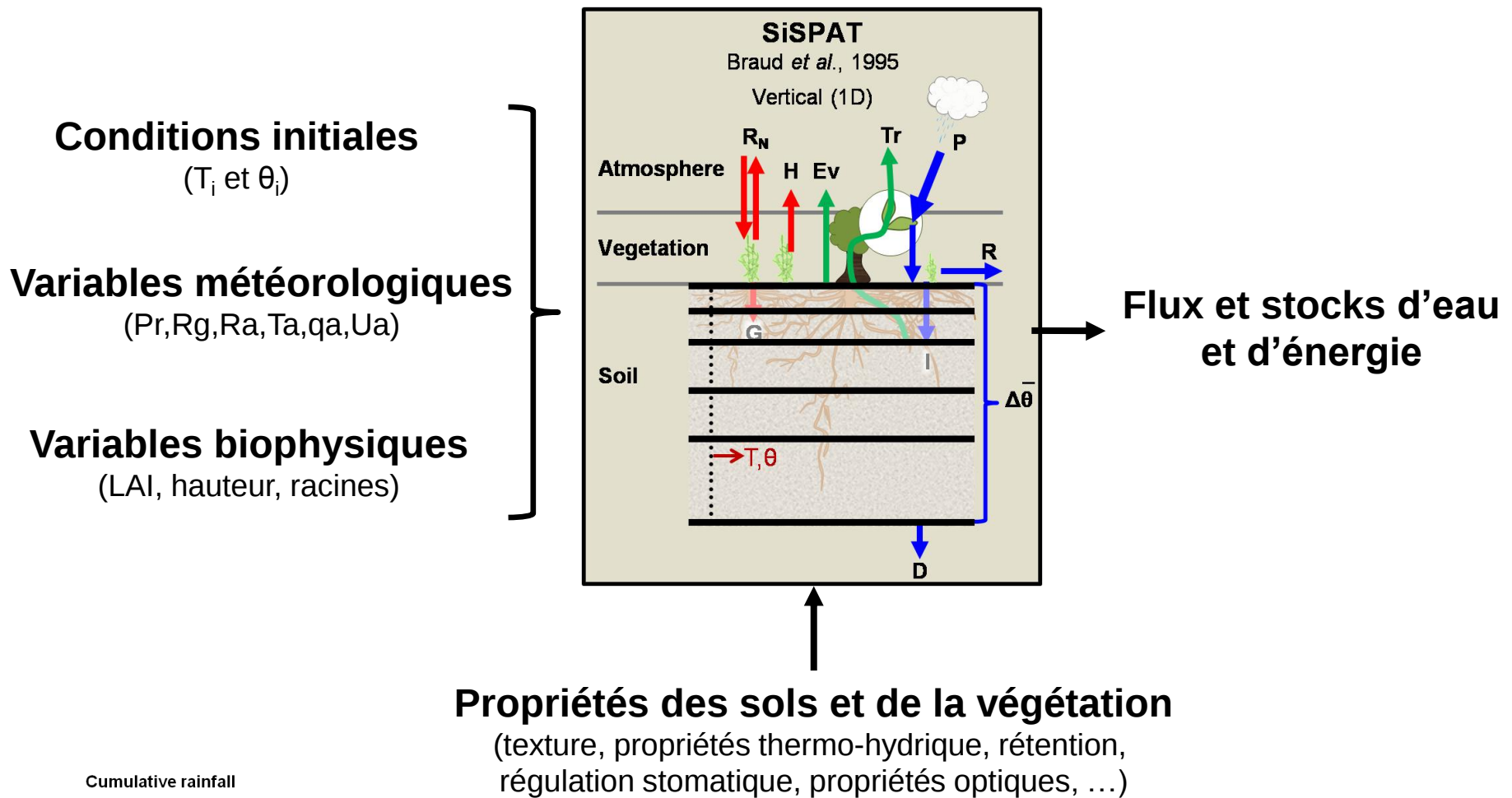
Flux et stocks d'eau et d'énergie

- Ruissellement (R)
- Drainage (D)
- Stockage sol ($\Delta\theta$)
- Evapotranspiration (ET)
- Radiation nette (R_N)
- Chaleur sensible (H)
- Chaleur dans le sol (G)
- Température du sol (T)
- Humidité du sol (θ)

SiSPAT (Simple Soil Plant Atmosphere model, Braud et al., 1995)



Démarche générale de modélisation LSM



- **Etalonnage** : 2 années contrastées (2005-2006)
- **Evaluation** : 5 années dont 3 de validation (2007-2009)

Prescription des propriétés hydrodynamiques des sols

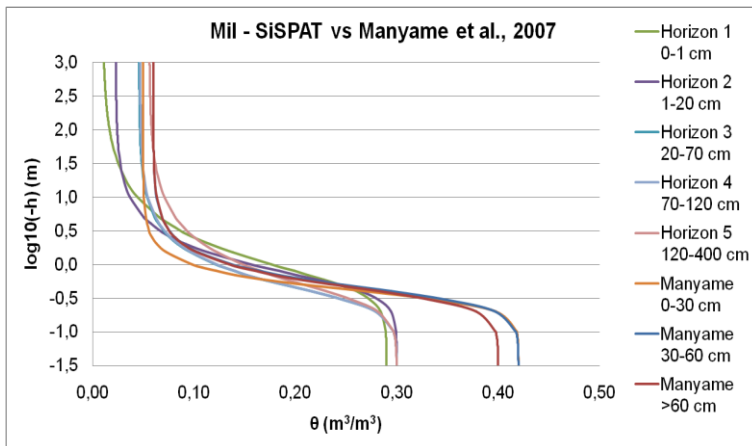
Retention capacity
(Van Genuchten, 1980)

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_{sat} - \theta_r}{\left[1 + \left(\frac{h}{h_g} \right)^n \right]^{1-2/n}}$$

Hydraulic conductivity
(Brooks & Corey, 1964)

$$K(\theta) = K_{sat} \left(\frac{\theta}{\theta_{sat}} \right)^\beta$$

**5 paramètres x 5 horizons x 2 sites
=
50 paramètres hydrodynamiques**



- Observations
- Bibliographie des sols sableux (AMMA, HAPEX)
- Fonctions de pédotransfert (via texture)
- Etalonnage final sur la connaissance des humidités du sol

Prescription des propriétés hydrodynamiques des sols

Retention capacity

(Van Genuchten, 1980)

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_{sat} - \theta_r}{\left[1 + \left(\frac{h}{h_g}\right)^n\right]^{1-2/n}}$$

Hydraulic conductivity

(Brooks & Corey, 1964)

$$K(\theta) = K_{sat} \left(\frac{\theta}{\theta_{sat}} \right)^\beta$$

	h _g	n	θ _{sat}	K _{sat}	β
	m	-	m ³ /m ³	m/s	-
Fallow savannah					
H1: 0-1 cm	-1,20	2,7	0,30	1.10 ⁻⁷	6,0
H2: 1-20 cm	-0,50	3,0		5.10 ⁻⁶	5,0
H3: 20-70 cm	-0,30			7.10 ⁻⁶	4,5
H4: 70-120 cm	-0,35			3.10 ⁻⁵	4,0
H5: 120-400 cm	-0,30			1.10 ⁻⁵	
Millet field					
H1: 0-1 cm	-0,50	2,7	0,30	3.10 ⁻⁷	6,0
H2: 1-20 cm		3,0		5.10 ⁻⁶	
H3: 20-70 cm	-0,30			5.10 ⁻⁶	4,0
H4: 70-120 cm				5.10 ⁻⁶	
H5: 120-400 cm				5.10 ⁻⁶	

Prescription des propriétés hydrodynamiques des sols

Retention capacity

(Van Genuchten, 1980)

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_{sat} - \theta_r}{\left[1 + \left(\frac{h}{h_g}\right)^n\right]^{1-2/n}}$$

Hydraulic conductivity

(Brooks & Corey, 1964)

$$K(\theta) = K_{sat} \left(\frac{\theta}{\theta_{sat}} \right)^\beta$$

	h_g	n	θ_{sat}	K_{sat}	β
	m	-	m ³ /m ³	m/s	-
Fallow savannah					
H1: 0-1 cm	-1,20	2,7		1.10 ⁻⁷	6,0
H2: 1-20 cm	-0,50	3,0	0,30	5.10 ⁻⁶	5,0
H3: 20-70 cm	-0,30			7.10 ⁻⁶	4,5
H4: 70-120 cm	-0,35			3.10 ⁻⁵	4,0
H5: 120-400 cm	-0.30			1.10 ⁻⁵	
Millet field					
H1: 0-1 cm		2,7		1.10 ⁻⁷	
H2: 1-20 cm	-0,50	3,0	0,30	5.10 ⁻⁶	6,0
H3: 20-70 cm	-0,30			5.10 ⁻⁶	4,0
H4: 70-120 cm				5.10 ⁻⁶	
H5: 120-400 cm				5.10 ⁻⁶	

- Forte similitude entre Mil et Jachère, surtout en profondeur

Prescription des propriétés hydrodynamiques des sols

Retention capacity

(Van Genuchten, 1980)

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_{sat} - \theta_r}{\left[1 + \left(\frac{h}{h_g}\right)^n\right]^{1-2/n}}$$

Hydraulic conductivity

(Brooks & Corey, 1964)

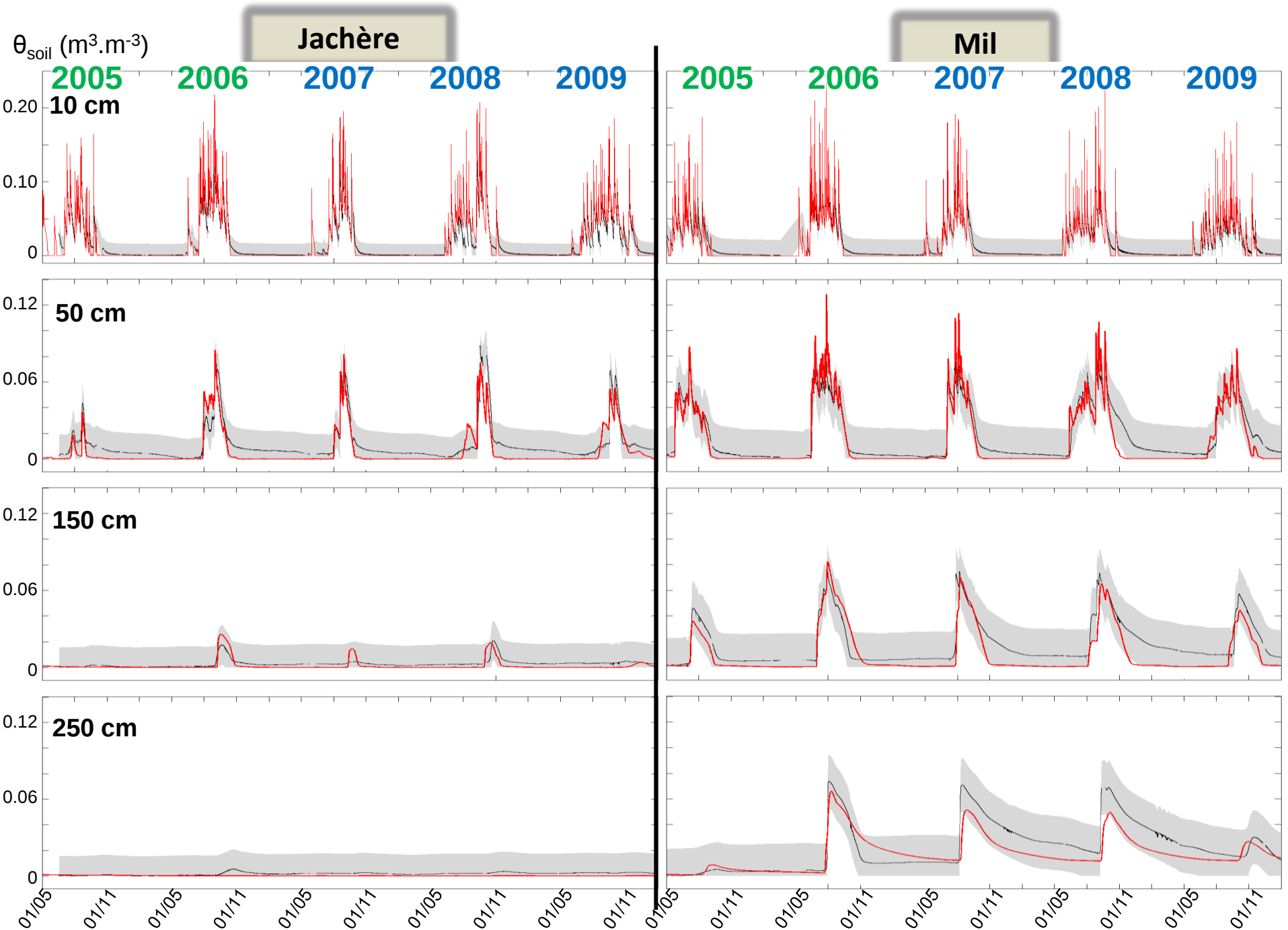
$$K(\theta) = K_{sat} \left(\frac{\theta}{\theta_{sat}} \right)^\beta$$

	h_g	n	θ_{sat}	K_{sat}	β
	m	-	m^3/m^3	m/s	-
Fallow savannah					
H1: 0-1 cm	-1,20	2,7		1.10^{-7}	6,0
H2: 1-20 cm	-0,50	3,0	0,30	5.10^{-6}	5,0
H3: 20-70 cm	-0,30			7.10^{-6}	4,5
H4: 70-120 cm	-0,35			3.10^{-5}	4,0
H5: 120-400 cm	-0,30			1.10^{-5}	
Millet field					
H1: 0-1 cm	-0,50	2,7		3.10^{-7}	6,0
H2: 1-20 cm		3,0	0,30	5.10^{-6}	4,0
H3: 20-70 cm	-0,30			5.10^{-6}	
H4: 70-120 cm				5.10^{-6}	
H5: 120-400 cm				5.10^{-6}	

- Croute de surface plus prononcée sur la jachère

Contenu en eau du sol

— Model ●●● Obs ■ Obs uncertainty

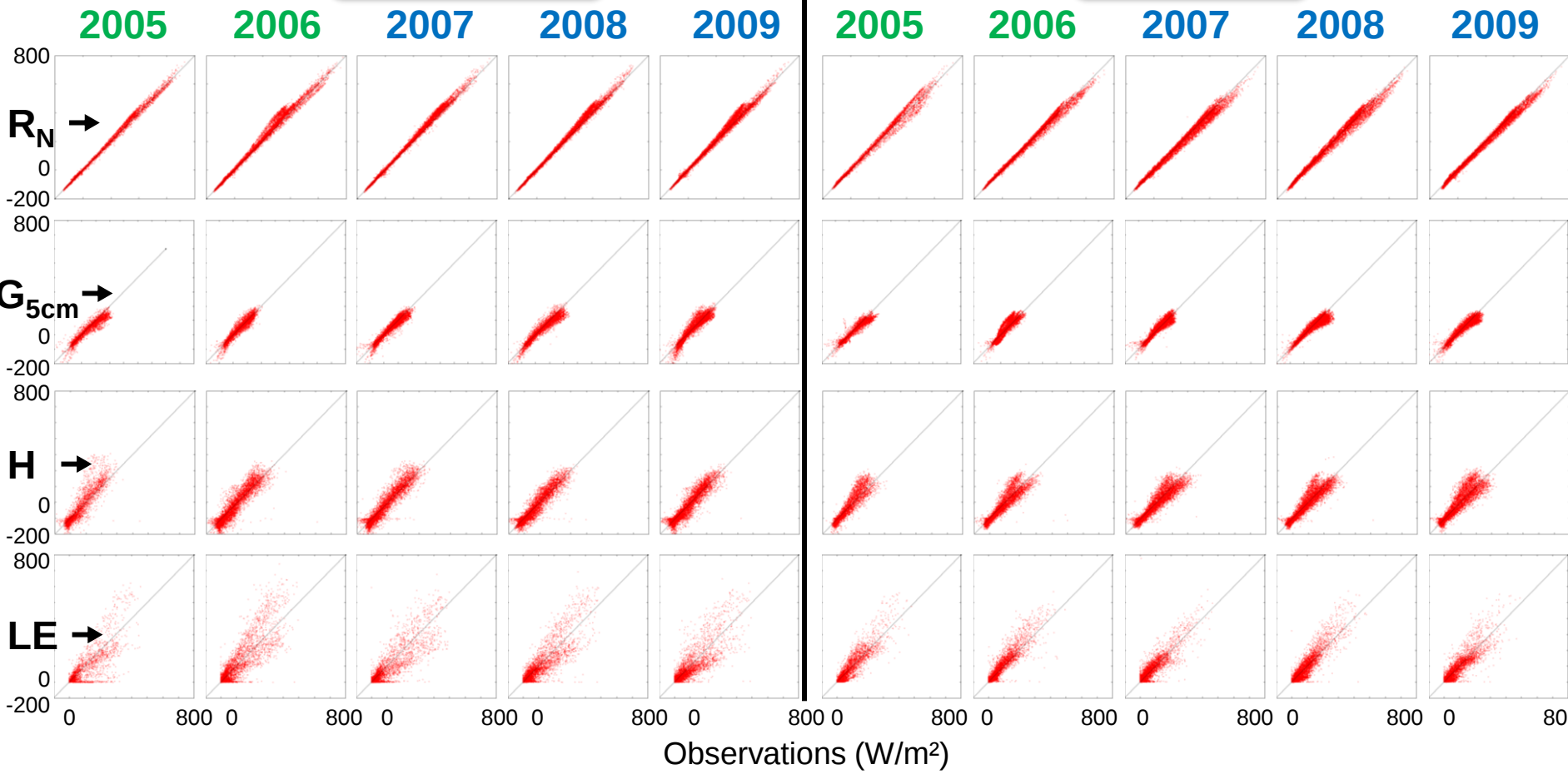


Flux de surface

Jachère

Mil

Modèle (W/m²)

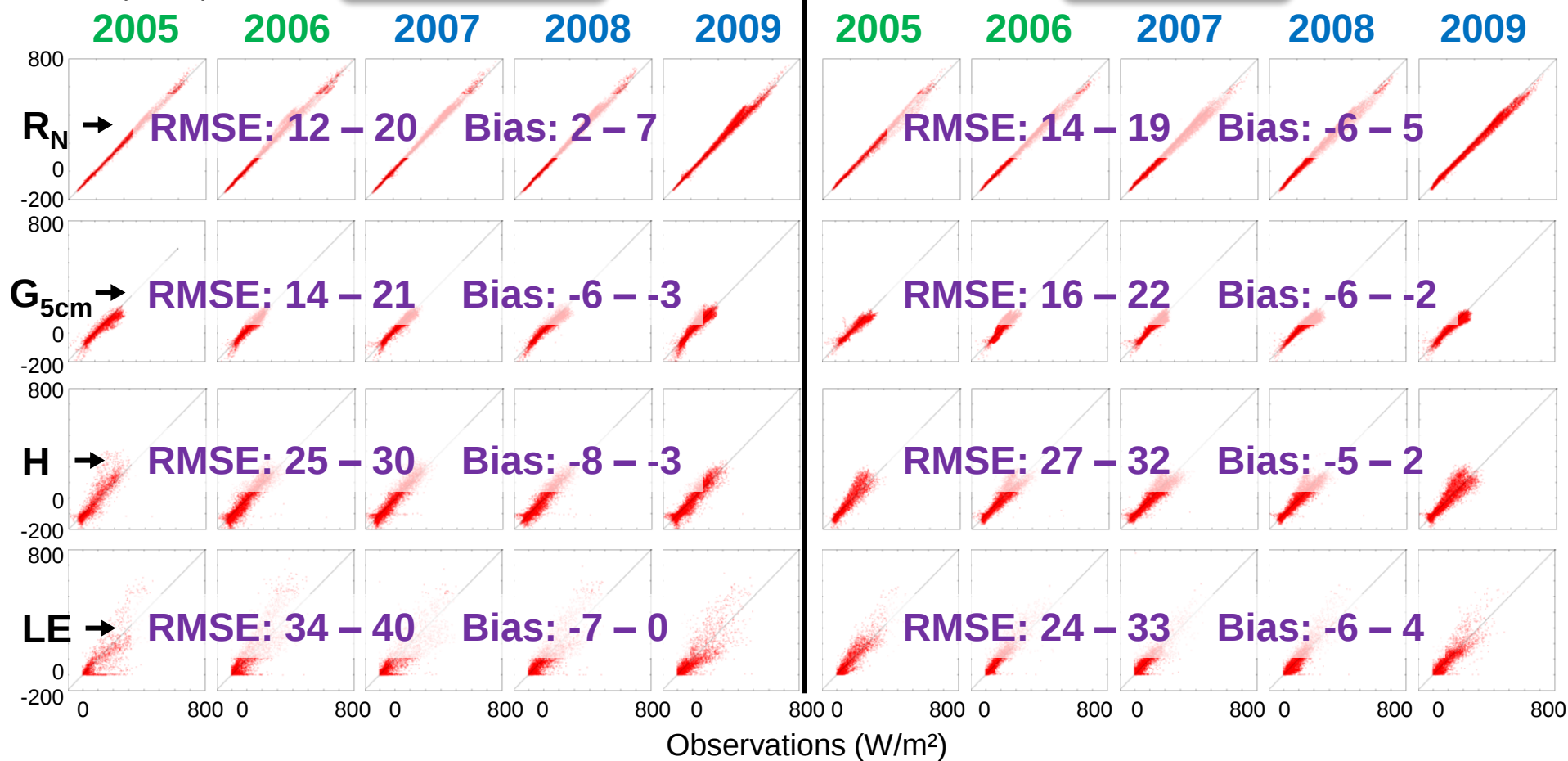


Flux de surface

Jachère

Mil

Modèle (W/m^2)



Performances interannuelles

- Satisfaisantes sur les 2 sites, années sèches ou humides, toutes les variables.
- Peu ou pas de biais significatifs
- Comportement analogue sur les températures du sol

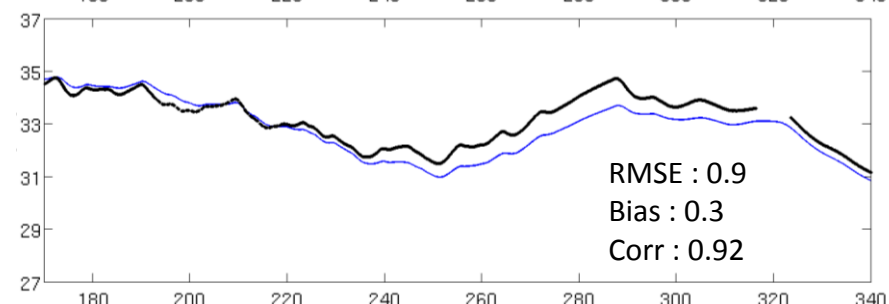
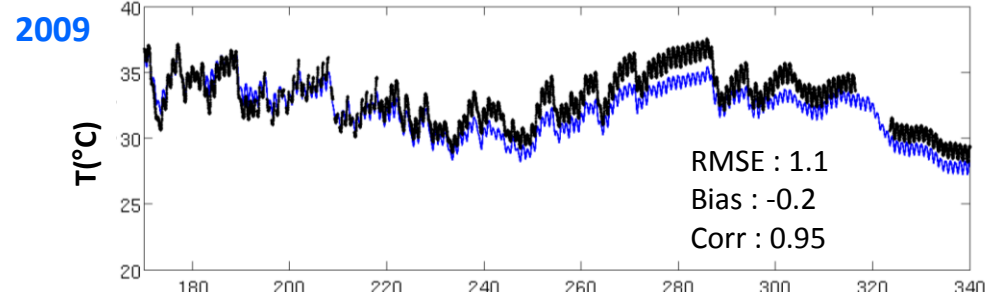
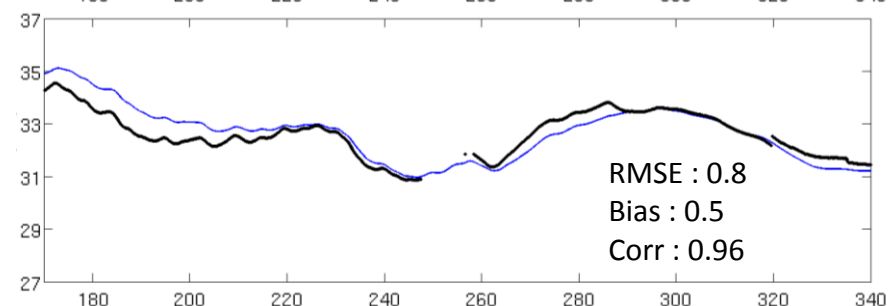
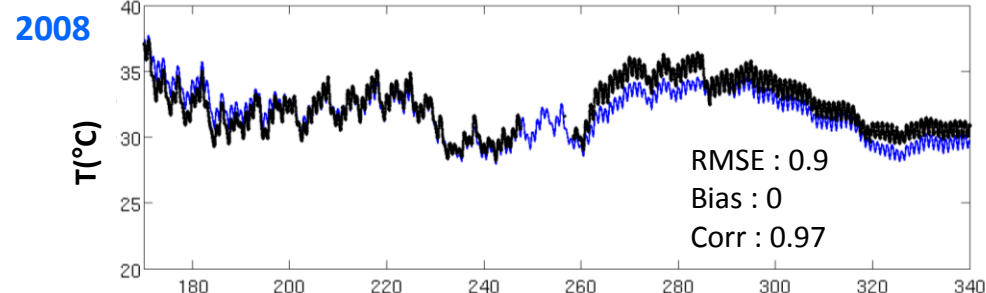
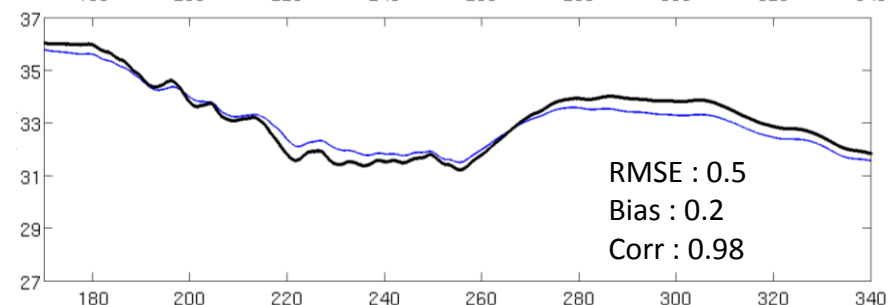
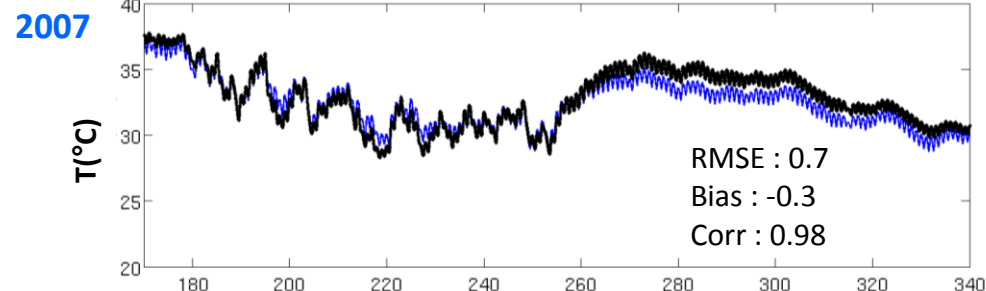
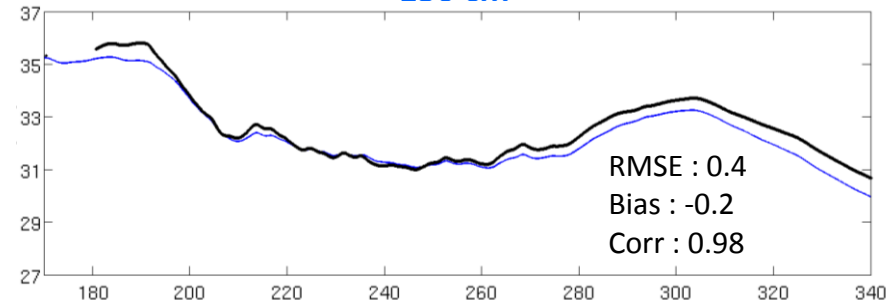
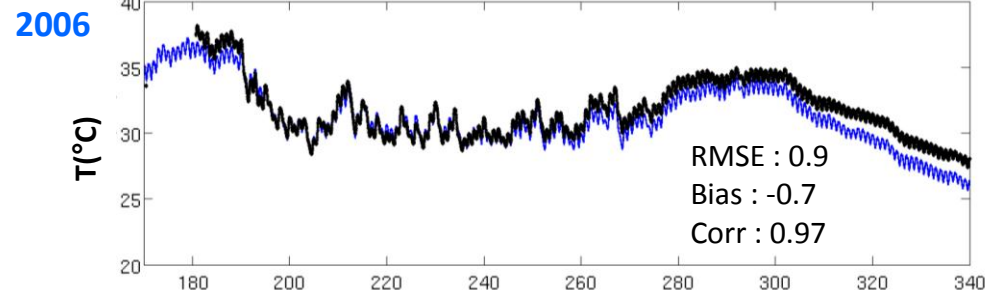
Soil temperatures

Millet field

50 cm

150 cm

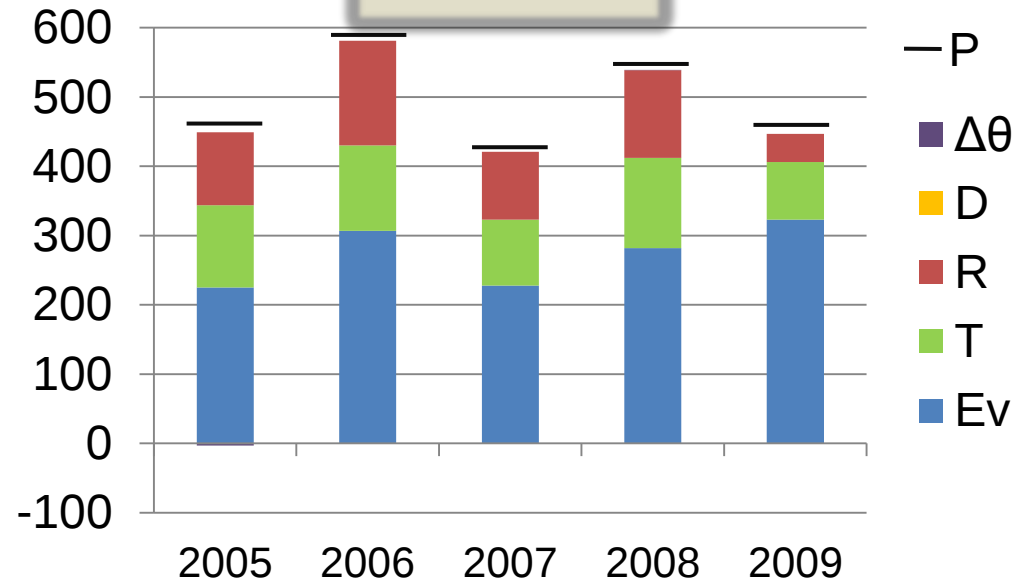
●● Obs
— Model



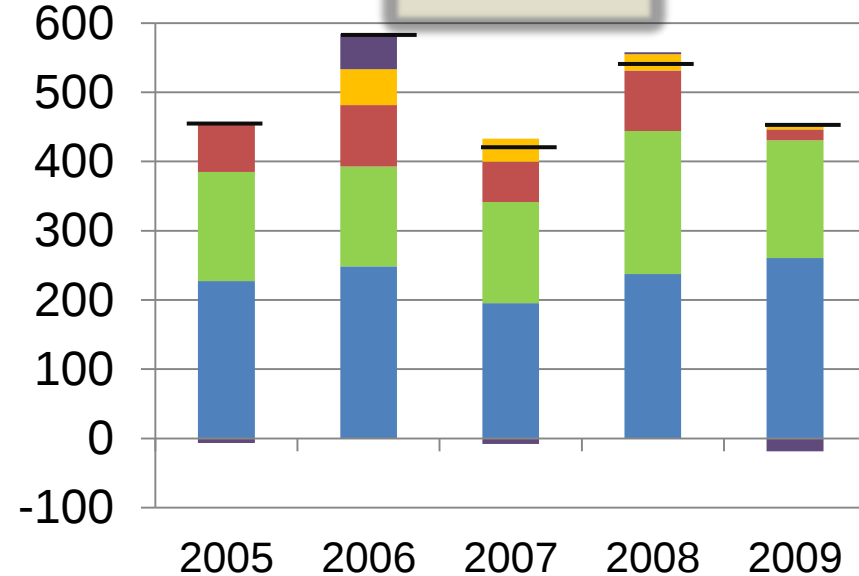
Day of year

Bilan hydrologique interannuel

Jachère



Mil



■ **Précipitations (P)** : 420–580 mm/an

■ **Evapotranspiration (LE)**

Jachère : 75–92% P

Mil : 67–101% P

■ **Evaporation et transpiration**

$Ev > Tr$

Jachère : $T = 20\text{--}45\%$ of LE

Mil : $T = 40\text{--}47\%$ of LE

■ **Runoff (R)**:

Jachère : 19–27% P

Mil : 4–16% P

■ **Drainage (D)**:

Jachère : pas de drainage

Mil : 0-10% P → Recharge nappe

■ **Stockage dans le sol ($\Delta\theta$)**:

Jachère : pas de stockage

Mil : $\Delta\theta = -20\text{--}+51$ mm/an

Conclusions

- ➔ **Modélisation des 2 principaux écosystèmes rencontrés au SO Niger**
 - ▶ **Modèle détaillé, rendant compte des principaux processus de surface de la zone**
 - ▶ **Performance** : étalonnage & validation, stabilité au travers les années, mil & jachère
 - ▶ **Amélioration de notre connaissance des bilans d'eau**

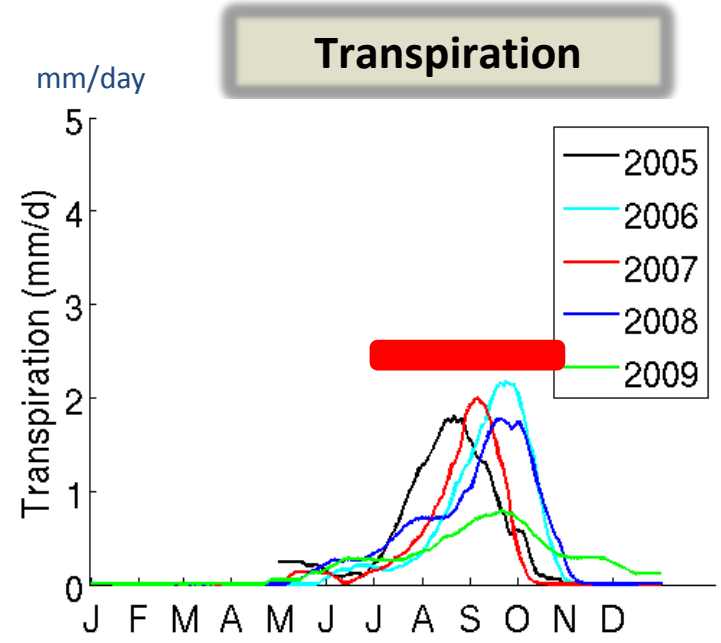
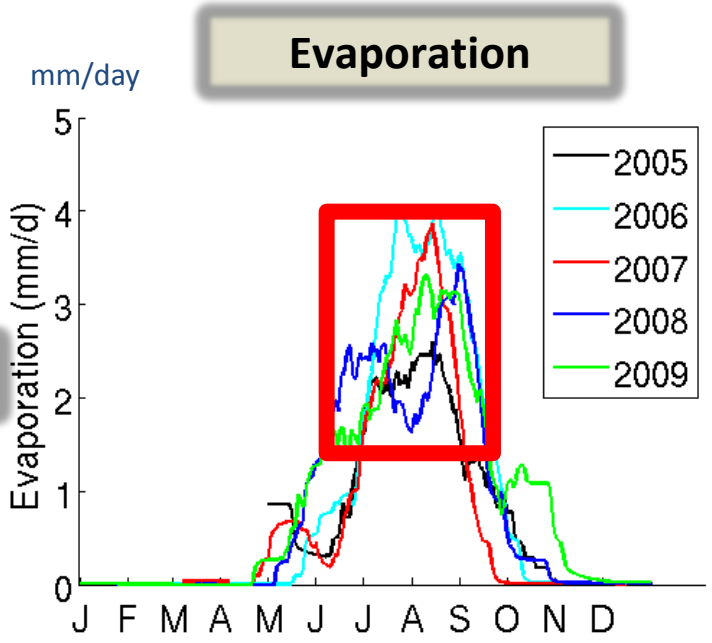
Perspectives

- ▶ Mieux quantifier les incertitudes restantes sur les bilans d'eau
- ▶ **Modèle de référence à échelle locale pour ALMIP2 (~20 LSM)**
- ▶ Evaluation du bénéfice de l'association Mil + Guiera sur les ressources éco-hydrologiques (projet agro-foresterie SAFSE, AIRD/CIRAD)
- ▶ Evolution des ressources éco-hydrologiques (ANR Escape)

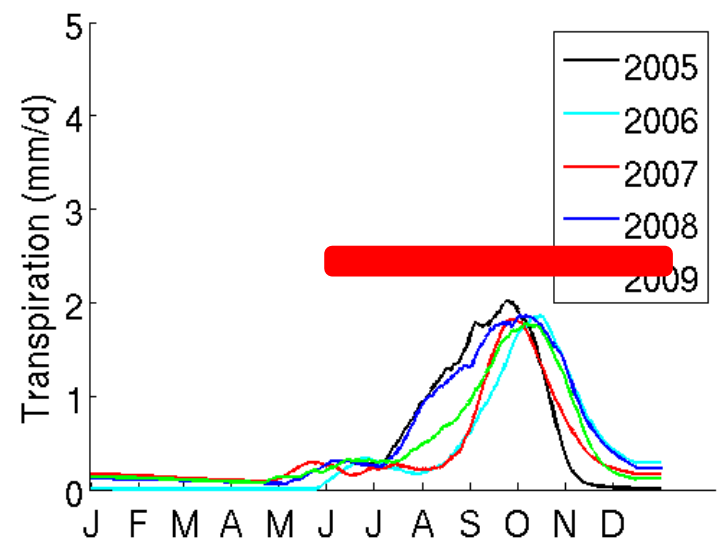
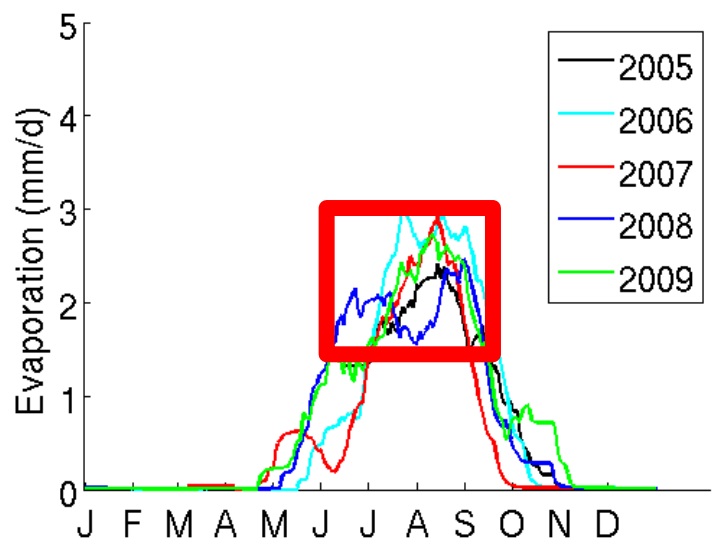
	Fallow savannah								Millet field							
mm/yr	2005	2006	2007	2008	2009	Total	Moy	Ectyp	2005	2006	2007	2008	2009	Total	Moy	Ectyp
P	443	580	421	538	442	2424	485	70	443	580	421	553	430	2427	485	75
ET	348	434	326	415	408	1932	386	47	385	390	342	446	432	1995	399	41
Ev	225	307	228	282	323	1365	273	45	227	248	196	237	261	1169	234	25
T	119	123	95	130	83	550	110	20	158	144	146	207	170	824	165	26
R	105	151	98	127	41	522	104	41	68	89	58	87	16	318	64	30
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	33	24	8	117	23	21
Interp	4	3	3	3	2	14	3	1	2	0	0	2	2	7	1	1
Δθ	-3	-1	0	0	0	-4	-1	1	-7	51	-8	3	-19	21	4	28

Comparaison interannuelle de la partition évaporation-transpiration

Jachère



Mil



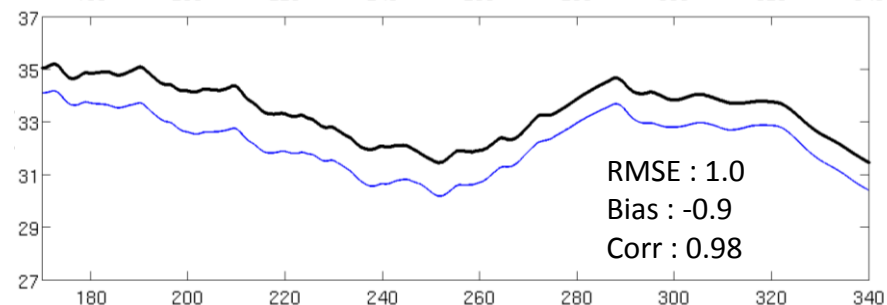
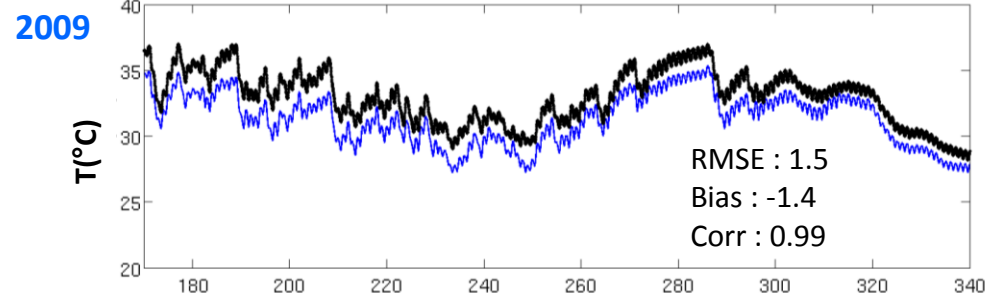
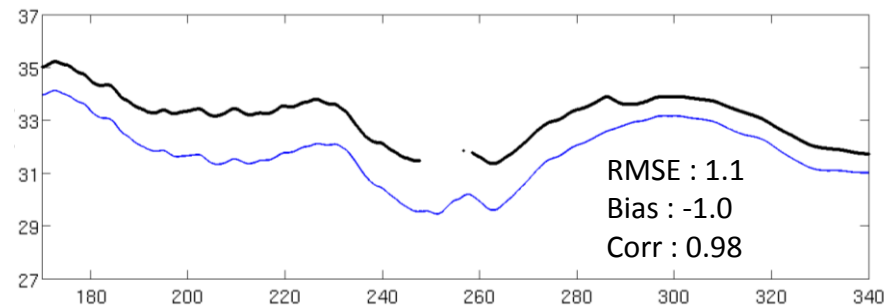
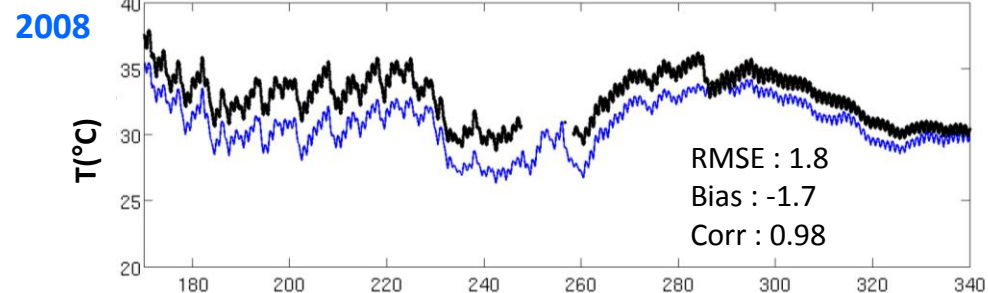
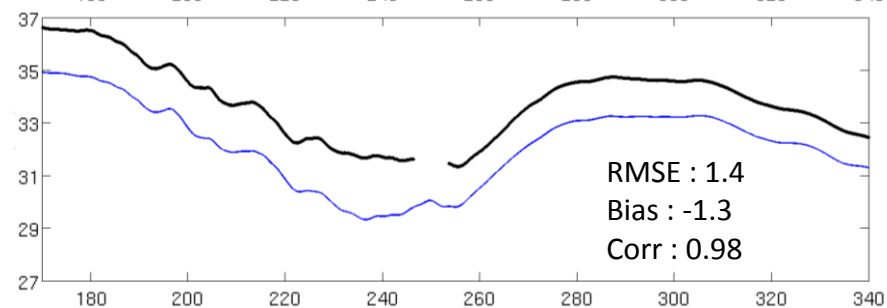
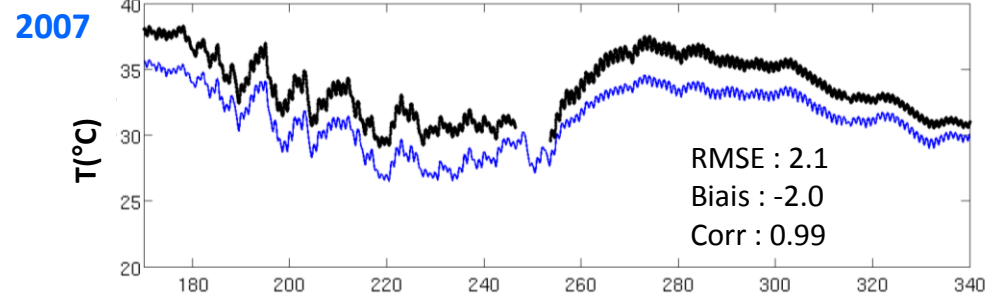
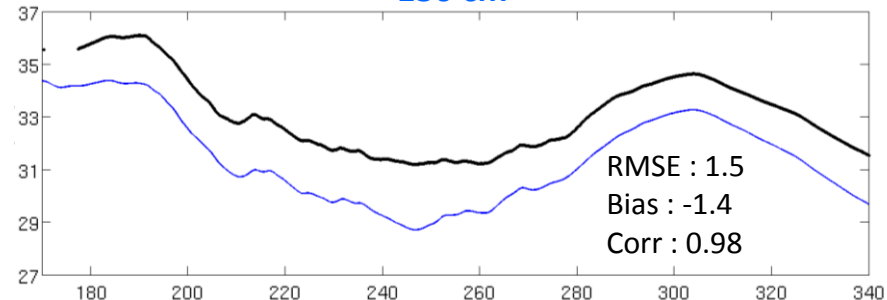
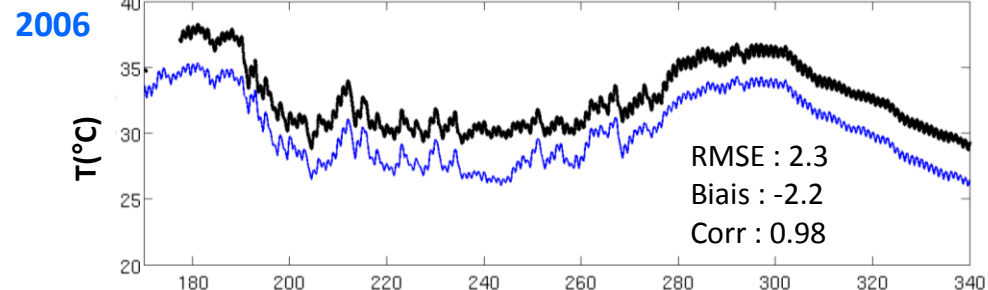
Soil temperatures

► Fallow savannah

●● Obs
— Model

50 cm

150 cm



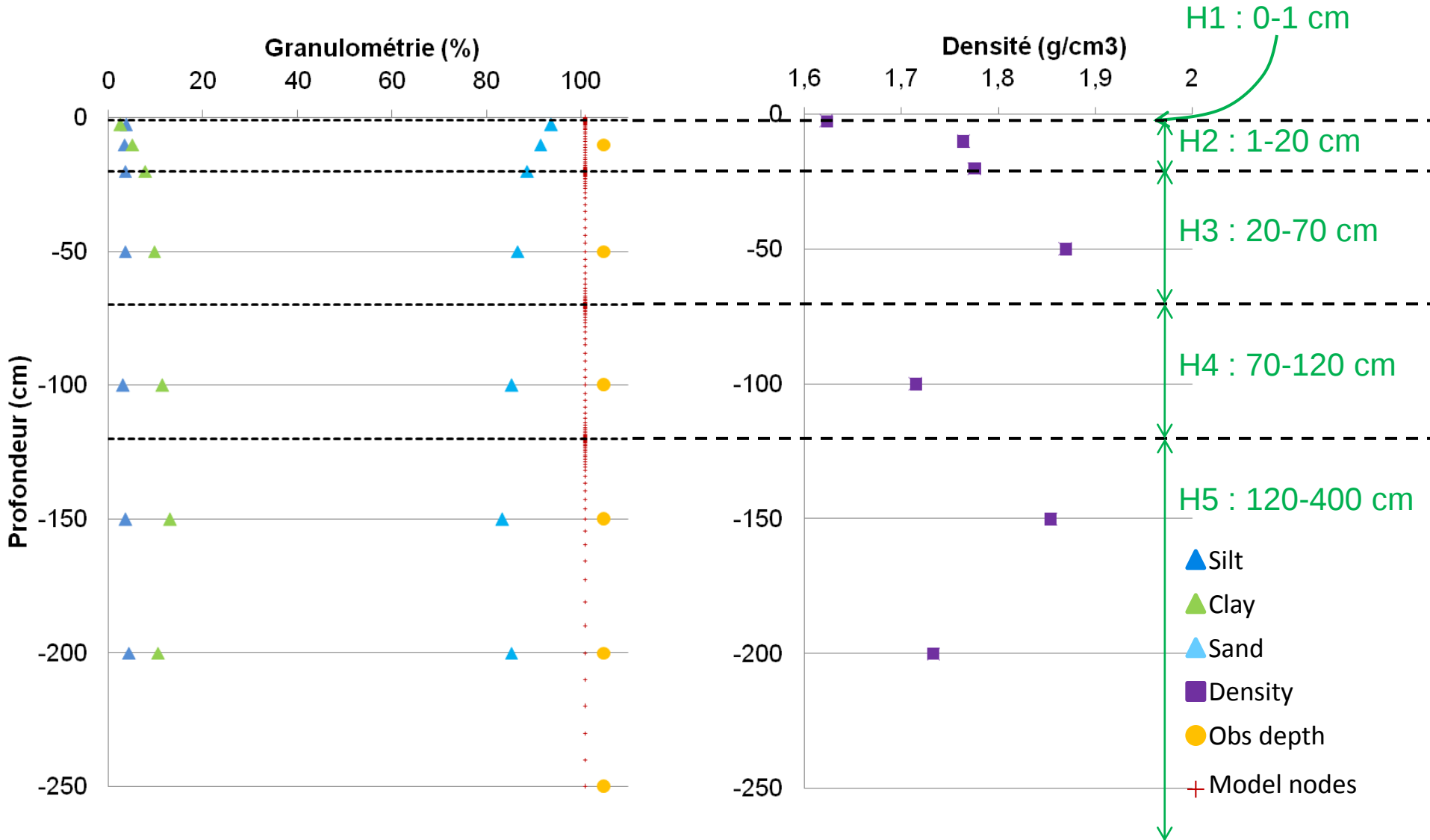
Day of year

Parameters

Other parameters	Units	Fallow savannah	Millet field
Vegetation albedo	-	0,24	0,24
Soil albedo (dry/wet)	-	0,20/0,33	0,20/0,34
Thermal conductivity	J/m ³ /K	1,20.10 ⁶	1,20.10 ⁶
Minimal stomatal resistance	s/m	80	80
Total plant resistance	s/m	6,50.10 ¹²	6,50.10 ¹²

Soil granulometry and density

► Fallow savannah



Soil granulometry and density

►Millet field

