

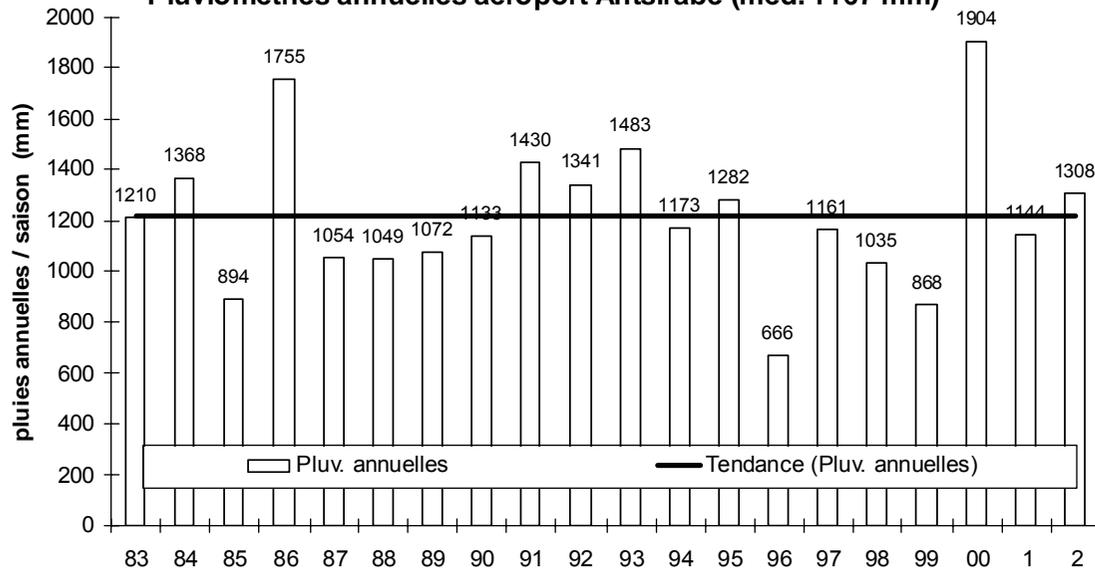
**Ruissellements et bilans hydriques de systèmes de culture
avec labour et en semis direct sur couverture végétale sur les
hautes terres malgaches**

Muller B., Douzet JM, Dusserre J., Rakotoarisoa J.

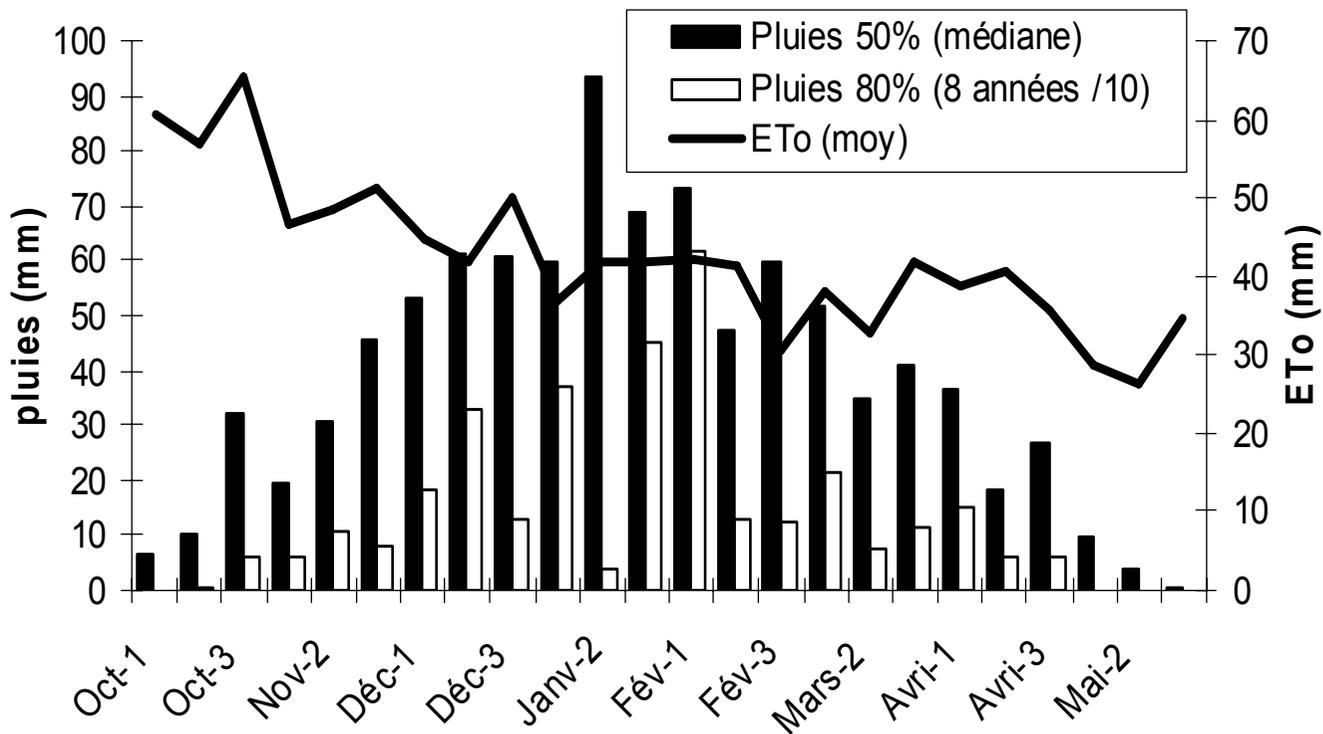
Contexte et objectifs

- Systèmes SCV réduisent ruissellements et érosion
- Le surplus d'eau infiltrée peut potentiellement permettre une amélioration de la satisfaction des besoins en eau des cultures :
 - meilleures productions
 - voire possibilité de semer en dérobée/succession
- Mais sur les Hautes Terres de Madagascar (Pluies abondantes, Temp. et Evapo. Faibles) il n'est pas certain que les cultures puissent valoriser le surplus d'eau infiltrée, et on peut craindre davantage de drainage (et lixiviation)

Pluviométries annuelles aéroport Antsirabe (méd. 1167 mm)



Pluies et ETo décadaires Antsirabe



Contexte et objectifs

- L'étude vise à analyser cette réalité en se basant sur des données de ruissellement obtenues et en simulant sur une série climatique le bilan hydrique de différents systèmes de culture en labour (traditionnels) et en semis direct sur couverture végétale (SCV)
 - Analyse de données de ruissellement obtenues à Andranomanelatra (20 Km nord Antsirabe; 1650 m) sur des dispositifs type « Wyschmeier » entre 2003 et 2007, et détermination de « fonctions de ruissellement »
 - Simulation du bilan hydrique de différents systèmes en labour et SCV à l'aide d'un logiciel simple opérationnel Sarrabil

Dispositifs de mesures des ruissellements

- Parcelles type Wyschmeier : longueurs 6-8 m ; surfaces $\geq 18 \text{ m}^2$; exutoires avec 2 à 3 fûts avec partiteur
- Mesures des ruissellements chaque matin après pluie, et également mesure des quantités de terre érodées
- NB: en parallèle mesures sur micro-lots de 1 m^2
- Sols ferrallitiques argileux pauvres développés sur substrat fluvio-lacustre
- Réserve utile de l'ordre de 160 mm/m

Dispositifs de mesures des ruissellements

Dispositif "Pente PCP" : depuis novembre 2005 sur jachère longue - pente 10-12%

dispositif conçu pour mesures de ruissellement et érosion

3 parcelles (répétitions) / traitement

		2004-05	2005-2006	2006-2007
S1	lab	M+H (Lab)	Riz (Lab)	M+H (Lab)
S4	lab	jach.	Riz (Lab)	M+H (Lab)
Tlab	lab	jach.	sol (Lab)	sol (Lab)
S2	lab->SD	M+H (Lab)	Riz (SD)	M+H (SD)
S3	SD	M+H (SD)	Riz (SD)	M+H (SD)
S5	SD	jach.	Riz (SD)	M+H (SD)
Tsd	SD	jach.	sol	sol

Parcelles "Tafa" : pentes de 3-5% à 10-11%

sur parcelles de riz : en labour : en rotation avec du soja ; pente 3-5%
 en SD : en rotation avec maïs+soja ; pente 10-11%

2004-05 2 parcelles / traitement

2005-06 1 parcelle / traitement

Dispositif "paysan" (à côté essais Tafa) : en 2004-2005 - pente 27-30%

Labour (sans enfouissement) - maïs+haricot

2 parcelles Wyschmeier de mesure

Mises en place environ 3 semaines après semis

Dispositifs de mesures des ruissellements

- Photo/plan dispositif pente scrid

Dispositifs de mesures des ruissellements

- Photos parcelle paysanne : pour montrer la forte pente

Dispositifs de mesures des ruissellements

- Photos parcelles Tafa

Analyse des ruissellements : les pluies

- Grand nombre de petites à moyennes pluies (< 20 mm) représentant un tiers du total
- Quelques (très) gros événements

Pluies à Andranomanelatra au cours des campagnes de mesure des ruissellements

		toutes	< 10 mm	10-20 mm	20-30 mm	30-40 mm	>40 mm
Pluies 2004-2005	n	81	44	13	12	6	6
05/12/2004	total P (mm)	1177	177	192	288	207,5	312,5
21/04/2005	%		15,0%	16,3%	24%	17,6%	27%
138	cumul %		15,0%	31,4%	56%	73,4%	100%
Pluies 2005-2006	n	95	62	12	11	3	7
18/11/2005	total P (mm)	1069,5	174	161,5	264	101,0	369
23/04/2006	%		16,3%	15,1%	25%	9%	35%
157	cumul %		16,3%	31,4%	56%	65%	100%
Pluies 2006-2007	n	123	80	19	8	3	13
25/10/2006	total P (mm)	1543	253	281,5	195,5	106,5	706,5
14/05/2007	%		16,4%	18,2%	13%	7%	46%
202	cumul %		16,4%	34,6%	47%	54%	100%

Analyse des ruissellements

- Des valeurs ponctuelles importantes en labour, mais certaines entachées de doutes (ont été plafonnées dans un 2nd temps)
- Les ruissellements restent très réduits sous SCV même lors de forts événements pluvieux et/ou de séquences pluvieuses

Données mesurées sur dispositif Tafa - campagne 2004-05

date	15/12	16/12	17/12	18/12	19/12	20/12	21/12	22/12	23/12	24/12
pluie (mm)	23	44	13	44	81	43	27	2	51	23
intensité max (mm/heure)	49	59	5	25	84	84	40	5	69	82
ruissellements mesurés (mm)										
Riz SD F0 (/ M+S ; p.C4) - 10%	0,3	0,5	0,0	0,1	0,8	1,0	0,6	0,0	1,2	0,4
Riz SD F3 (/ M+S ; p.C4) - 10%	0,1	0,3	0,1	0,2	0,6	0,3	0,4	0,0	0,5	0,2
Riz Lab F0 (/ S ; p.F4) - 4%	0,3	4,6	0,2	9,2	91,8	79,9	11,5	0,0	43,9	7,7
Riz Lab F3 (/ S ; p.F4) - 4%	0,2	1,0	0,1	0,6	82,8	72,0	5,4	0,0	39,6	8,0

Données mesurées sur dispositif Pente PCP - campagne 2004-05

date	15/12	16/12	17/12	18/12	19/12	20/12	21/12	22/12	23/12	24/12
pluie (mm)	27	39	13	43	66	32	16	2	53	23
intensité max (mm/heure)	30	65	5	25	85	75	30	5	60	55
ruissellements mesurés (mm)										
Maïs+Haricot Lab - 10%	0,3	0,3	0,2	0,6	2,1	5,3	0,5	0,0	11,0	3,6
Maïs+Haricot SD - 10%	0,1	0,1	0,2	0,3	3,9	0,8	0,2	0,0	1,8	0,3

Analyse des ruissellements

Ruissellements dispositif "pente PCP" en relation aux pluies

		toutes P	P < 10 mm	P 10-20 mm	P 20-30 mm	P 30-40 mm	P >40 mm
2004-05	Pluies	1177	177	192	288	208	313
Ruissellements mm	M+H Lab	43,2	1,1	3,4	13,3	8	18
	M+H SD	19,8	0,8	1,8	3,4	2	12
en % pluies	M+H Lab	3,7%	0,6%	1,8%	4,6%	3,7%	5,7%
	M+H SD	1,7%	0,4%	0,9%	1,2%	1,0%	3,8%
en % ruiss. tot.	M+H Lab	100%	3%	8%	31%	18%	41%
	M+H SD	100%	4%	9%	17%	10%	60%
2005-06	Pluies	1070	174	162	264	101	369
Ruissellements mm	Riz Lab	84,6	1,1	6,8	20,2	13	43
	Riz SD	14,8	0,9	1,5	3,0	2	7
en % pluies	Riz Lab	7,9%	0,6%	4,2%	7,7%	13,2%	11,7%
	Riz SD	1,4%	0,5%	0,9%	1,1%	2,2%	1,9%
en % ruiss. tot.	Riz Lab	100%	1%	8%	24%	16%	51%
	Riz SD	100%	6%	10%	21%	15%	48%
2006-07	Pluies	1543	253	282	196	107	707
Ruissellements mm	M+H Lab	64,8	1,3	3,8	9,1	6	44
	M+H SD	18,0	1,1	2,6	2,0	1	11
en % pluies	M+H Lab	4,2%	0,5%	1,3%	4,6%	5,9%	6,3%
	M+H SD	1,2%	0,4%	0,9%	1,0%	1,3%	1,5%
en % ruiss. tot.	M+H Lab	100%	2%	6%	14%	10%	68%
	M+H SD	100%	6%	15%	11%	8%	61%

Analyse des ruissellements

Ruissellements dispositif Tafa 2004-05 en relation aux pluies avec plafonnement des données douteuses

		toutes P	P < 10 mm	P 10-20 mm	P 20-30 mm	P 30-40 mm	P >40 mm
2004-05	Pluies	1483	197	286	249	425	326
Ruissellements mm	Riz SD F0	20	1	3	4	7	5
	Riz Lab F0	470	4	52	62	148	204
en % pluies	Riz SD F0	1,4%	0,4%	1,1%	1,6%	1,6%	1,6%
	Riz Lab F0	31,7%	1,8%	18,3%	24,8%	34,8%	62,6%
en % ruiss. tot.	Riz SD F0	100%	4%	15%	20%	35%	26%
	Riz Lab F0	100%	1%	11%	13%	31%	44%

avec élimination des données douteuses

		toutes P	P < 10 mm	P 10-20 mm	P 20-30 mm	P 30-40 mm	P >40 mm
2004-05	Pluies	1269	197	286	249	387	151
Ruissellements mm	Riz SD F0	20	1	3	4	7	5
	Riz Lab F0	263	4	52	62	110	36
en % pluies	Riz SD F0	1,6%	0,4%	1,1%	1,6%	1,8%	3,5%
	Riz Lab F0	20,8%	1,8%	18,3%	24,8%	28,3%	24,0%
en % ruiss. tot.	Riz SD F0	100%	4%	15%	20%	35%	26%
	Riz Lab F0	100%	1%	20%	23%	42%	14%

Ruissellements dispositif Tafa 2005-06 en relation aux pluies

		toutes P	P < 10 mm	P 10-20 mm	P 20-30 mm	P 30-40 mm	P >40 mm
2005-06	Pluies	1070	174	162	264	101	369
Ruissellements mm	Riz SD F0	19	3	3	4	2	7
	Riz Lab F0	227	8	22	56	29	113
en % pluies	Riz SD F0	1,8%	1,5%	1,7%	1,7%	2,0%	1,9%
	Riz Lab F0	21,3%	4,5%	13,3%	21,2%	28,5%	30,7%
en % ruiss. tot.	Riz SD F0	100%	14%	15%	24%	11%	36%
	Riz Lab F0	100%	3%	9%	25%	13%	50%

Analyse des ruissellements

Ruissellements sur parcelle paysanne en relation aux pluies

		toutes P	P < 10 mm	P 10-20 mm	P 20-30 mm	P 30-40 mm	P >40 mm
2004-05	Pluies	1319	184	246	200	425	264
Ruissellements mm	M+H Lab P1	25,2	1,0	2,2	4,4	10,2	7,4
	M+H Lab P2	28,7	1,3	3,3	5,1	11,7	7,3
en % pluies	M+H Lab P1	1,9%	0,5%	0,9%	2,2%	2,4%	2,8%
	M+H Lab P2	2,2%	0,7%	1,4%	2,5%	2,8%	2,8%
en % ruiss. tot.	M+H Lab P1	100%	4%	9%	17%	40%	29%
	M+H Lab P2	100%	4%	12%	18%	41%	26%

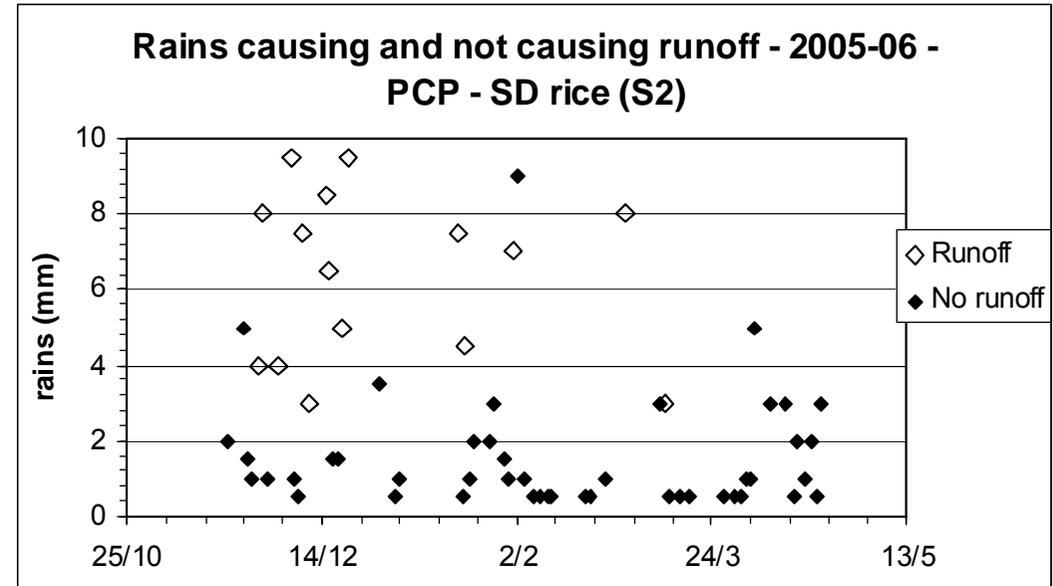
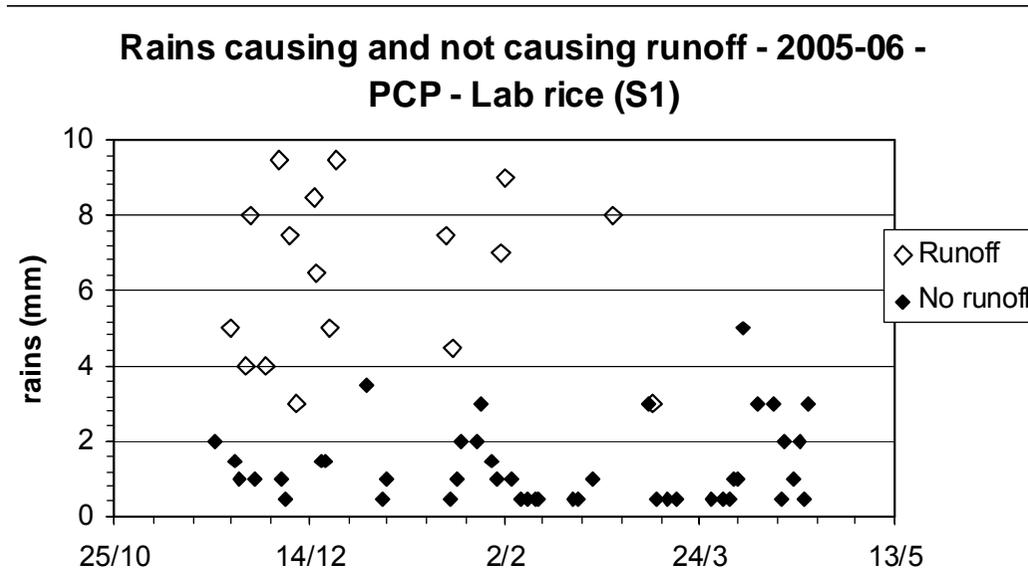
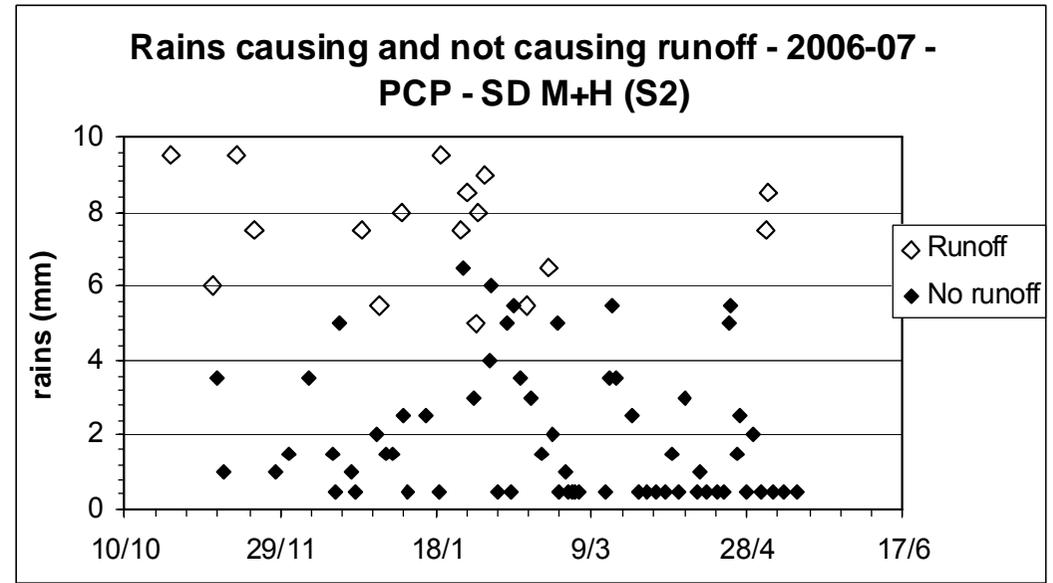
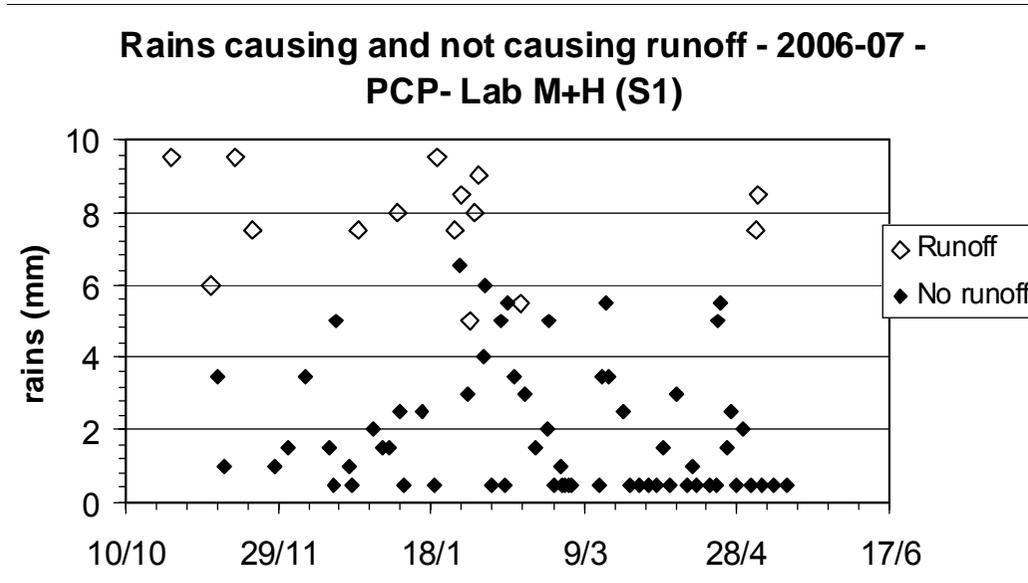
Analyse des ruissellements

- Des ruissellements très faibles (« nuls ») en SCV : de 1% à 2% des précipitations totales ; ponctuellement toujours inférieurs à 15% de la pluie
- Des résultats variables en labour, mais globalement des valeurs faibles :
 - Particulièrement faible sur parcelle paysanne (pente 30%!)? (labour profond avec bon enfouissement de biomasse)
 - Faible sur dispositif PCP (pente 10%) : 5 à 10% pluies
 - Et plus élevé en riz pluvial (en moyenne 7%) que avec maïs et haricot (4%)
 - Moyen à élevé sur parcelles Tafa : 20 % ou plus
 - Toujours plus élevé en riz

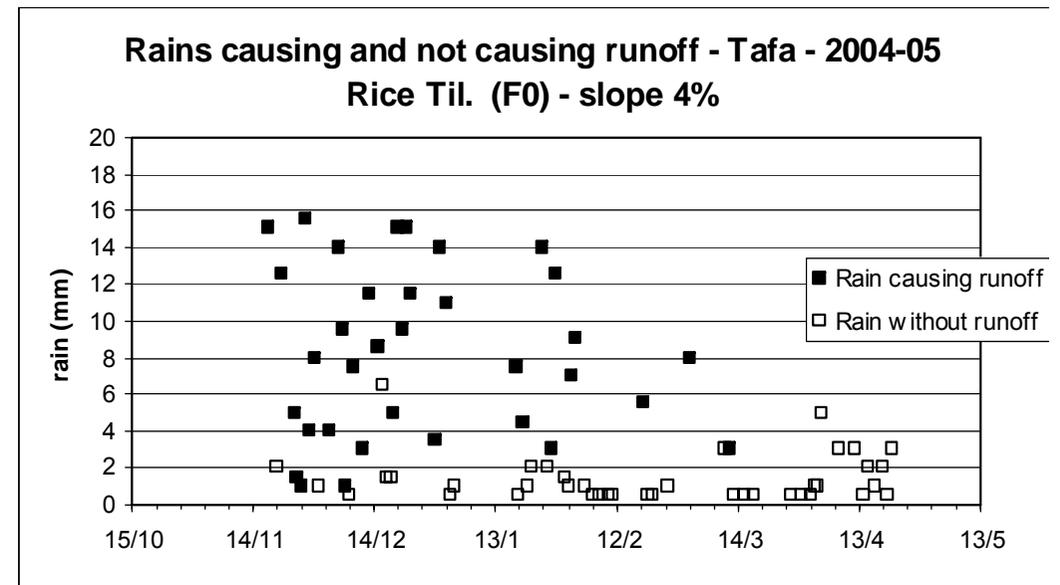
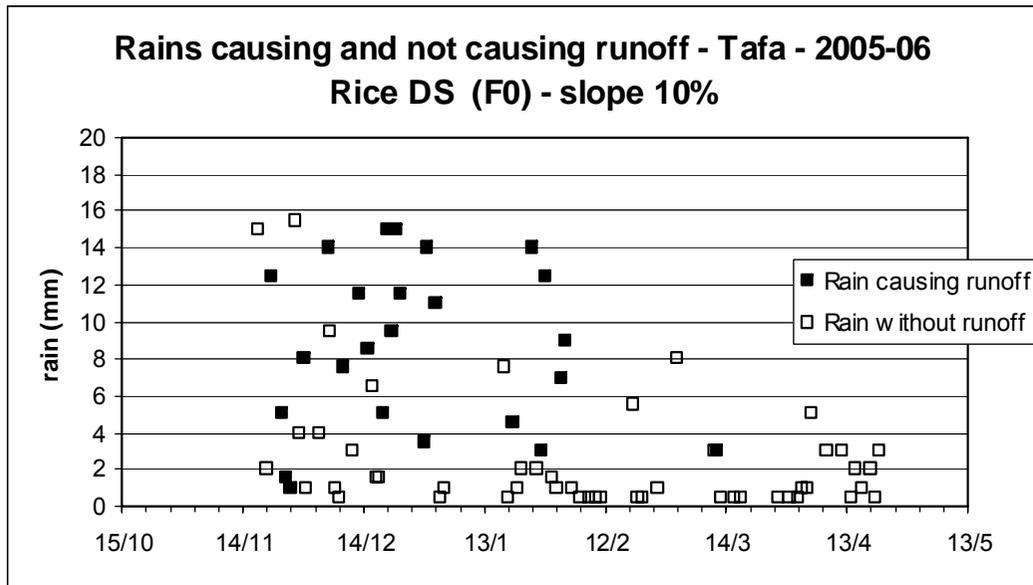
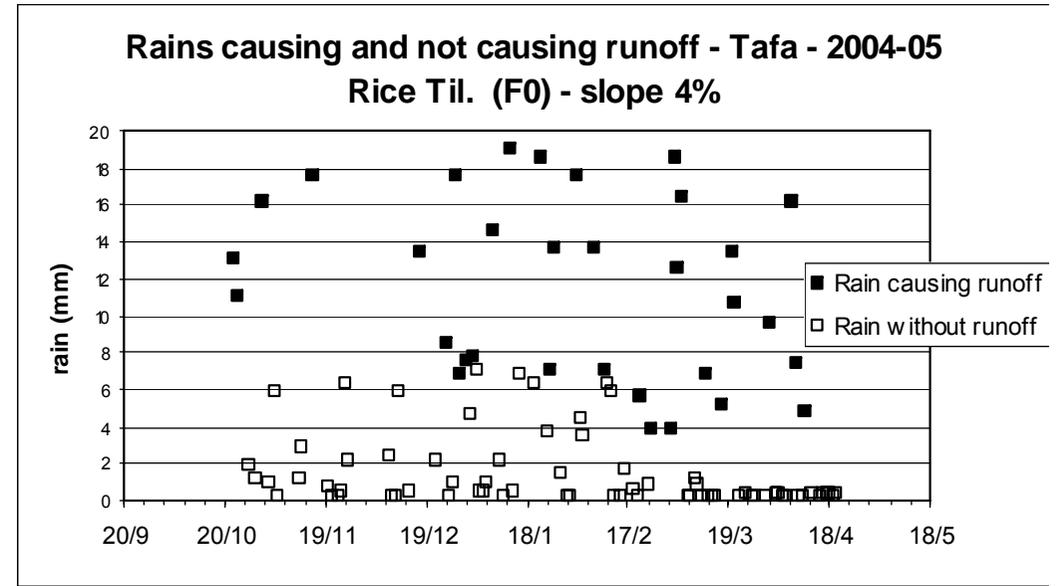
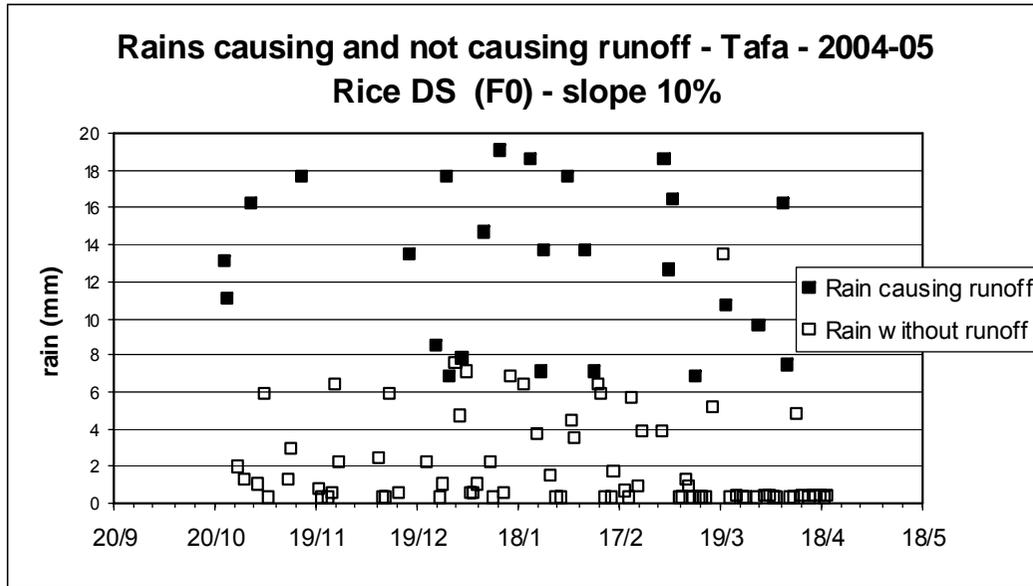
Recherche des seuils de ruissellement

- Étude des pluies causant / ne causant pas du ruissellement
 - effet de l'intensité mais pas systématique
 - effet non évident du couvert (LAI)
- Seuils environ 5 mm et stable au cours cycle sur dispositif pente SCRID, idem labour et SCV
- Seuils plutôt 6 mm sur dispositif pente Tafa SCV et labour en 2004-05 ; plutôt 3-4 mm en 2005-06
- Seuil « moyen » : 5 mm ; pas de différence nette entre SCV et labour (labour régénère porosité en surface; SCV l'entretient)

Recherche des seuils de ruissellement



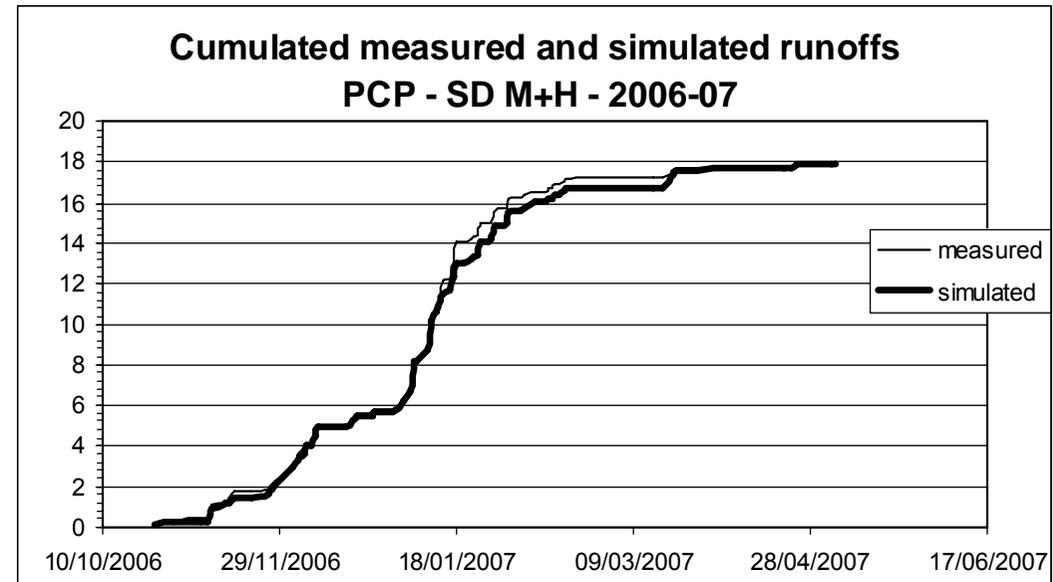
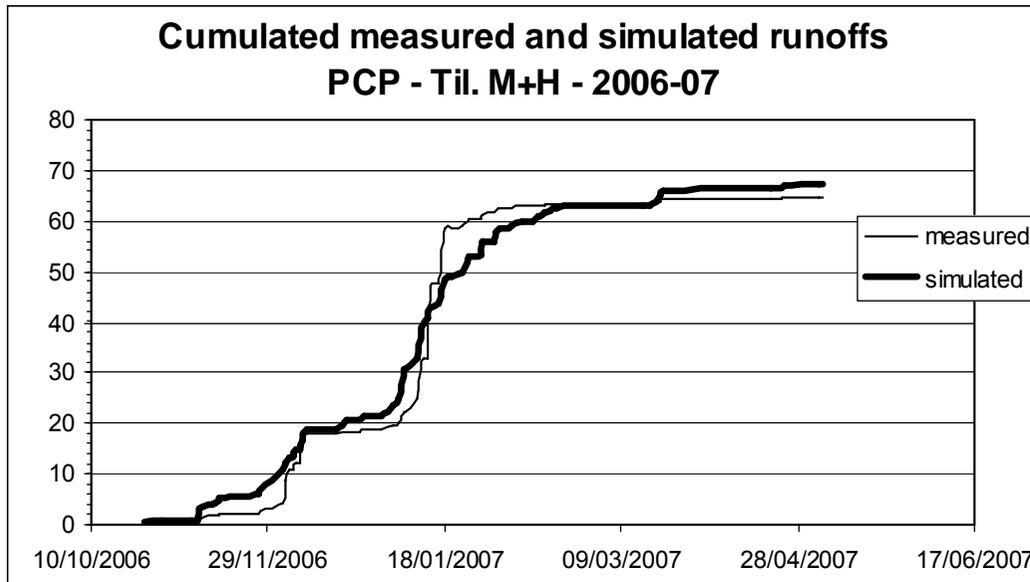
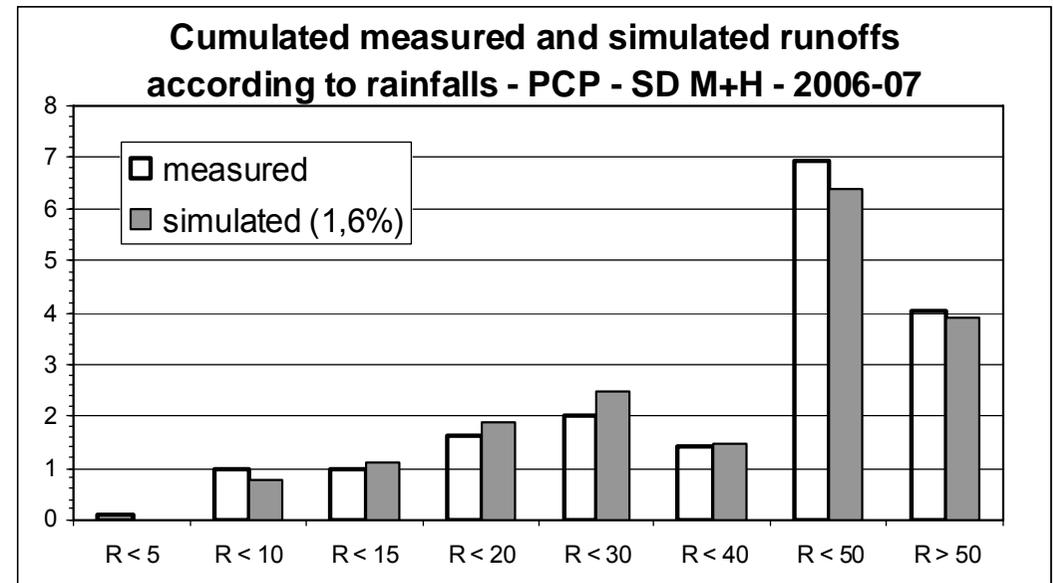
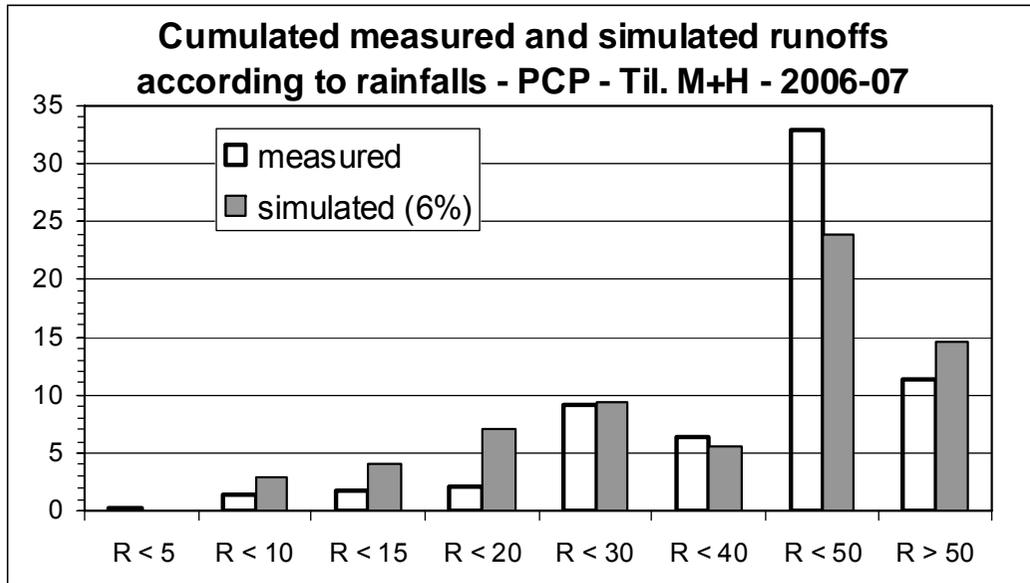
Recherche des seuils de ruissellement



Recherche d'algorithmes de ruissellement

- Faire simple (opérationnel) : car intensités non disponibles en général et par ailleurs pas pu mettre en évidence clairement effet d'antériorité et cumul des pluies sur plusieurs jours (bien que certainement existe)
si $\text{Pluie} < \text{seuil}$: $\text{Ruiss} = 0$
si $\text{Pluie} > \text{seuil}$: $\text{Ruiss} = \text{fraction (\%)} \text{ de } (\text{Pluie} - \text{Seuil})$
- Seuil retenu de 5 mm (4-6 mm : ne change pas grand-chose car petites pluies)
- Calage du paramètre « fraction » fait sur les pluies moyennes à fortes (> 20 mm)
- Vérification par comparaison observé - simulé

Recherche d'algorithmes de ruissellement



Recherche d'algorithmes de ruissellement

- Surestimation des petits ruissellements et sous-estimation des (très) gros ruissellements (3 à 5 / saison)
- Erreurs faibles / total
- Erreurs faibles / quantités infiltrées

Analyse des ruissellements : conclusion

- Des ruissellements quasi nuls en SCV
- Des ruissellements faibles à modéré en labour
- Différences en terme de mm sont faibles à moyenne :
 - 20 à 60 mm sur dispositif PCP : < 10% infiltration totale
 - 250 à 450 mm sur dispositif Tafa : en labour cela représente -20% à -30% d'eau infiltrée / SCV

Simulations des bilans hydriques

- Logiciel Sarrabil : type $K_c \times E_{To}$; sol « mono-réservoir »
- Bilan simple : pas considération interception-stockage-évaporation eau par mulch
- Données climatiques journalières aéroport Antsirabe 1983-1999
- Sol : réserve utile 160 mm/m
- Riz pluvial 150 jours
 - K_c FAO : intensif / paysan : $K_{cmax} = 1,1 / 0,9$
- Système riz – dérobée semée 70 jours après riz (vesce)

Simulations des bilans hydriques

- Profondeurs racinaires : 30 cm (contraintes), 60 cm (« normal »), 90 cm
- Dates de semis : du 20 oct. au 20 déc.
- SCV : seuil : 5 mm ; fraction : 2%
- Labour : seuil : 5 mm ; fraction : 25%
(volontairement maximisé)

Simulations des bilans hydriques

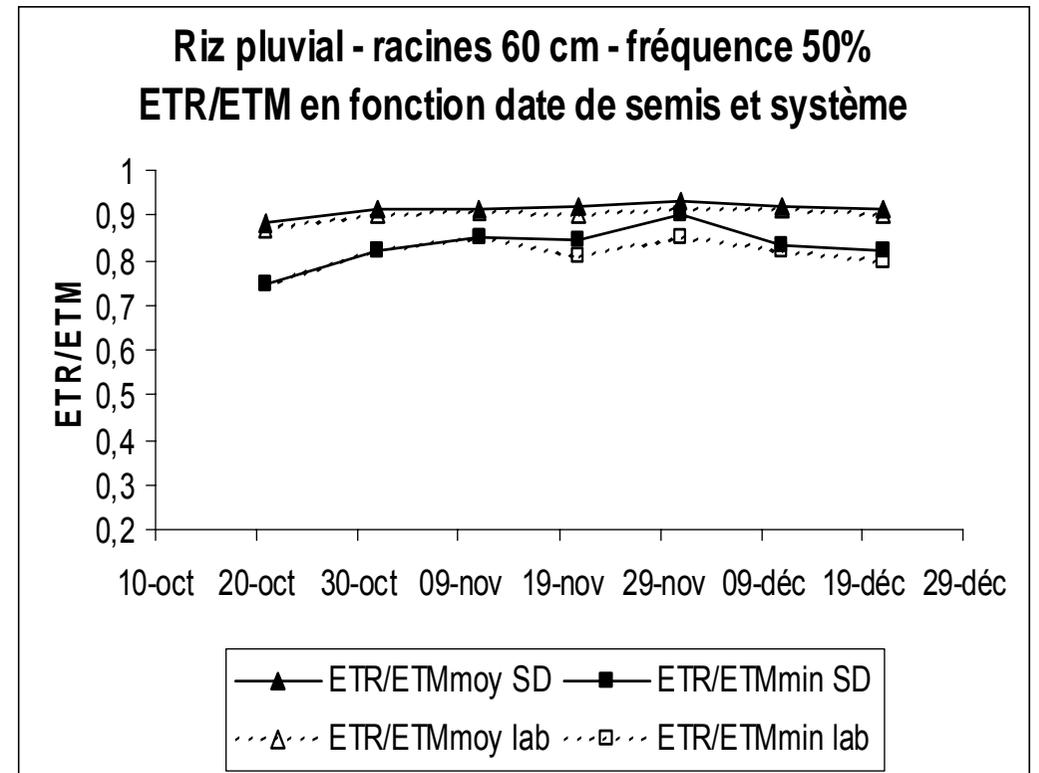
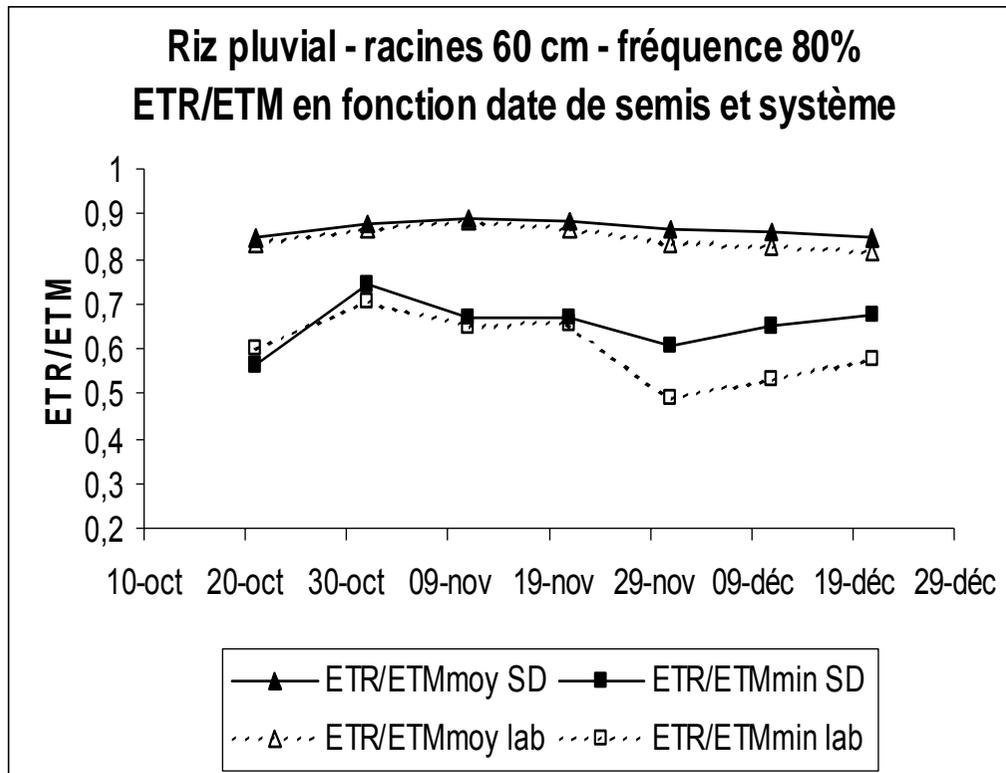
- Résultats analysés (indicateurs):
 - Cumuls PLUIE et ETo sur les cycles (mm):
indicateurs des potentialités climatiques de production
 - Cumuls RUISS, DRAIN, PERTE (= RUISS+DRAIN) (mm)
 - Ratios décennaires ETa/ET (-) moyens et minimaux:
indicateurs du degré de satisfaction de la consommation hydrique et donc du potentiel agricole de production (sauf autres contraintes)

Simulations des bilans hydriques

- Pour la dérobée:
 - Recherche de la dernière date de semis qui permet de bonnes conditions hydriques de la dérobée, pour la production de biomasse (60-100 JAS; $ETa/ET_{moyen} > 0,7$ et minimal $> 0,6$), but premier du système, ou celle de grains (sauf froid) (100-130 JAS; $ETa/ET_{moyen} > 0,8$ et minimal $> 0,7$).
 - Si l'on peut semer plus tard, cela indique de meilleures conditions plus longtemps, et donne plus de marge de manœuvre aux agriculteurs.

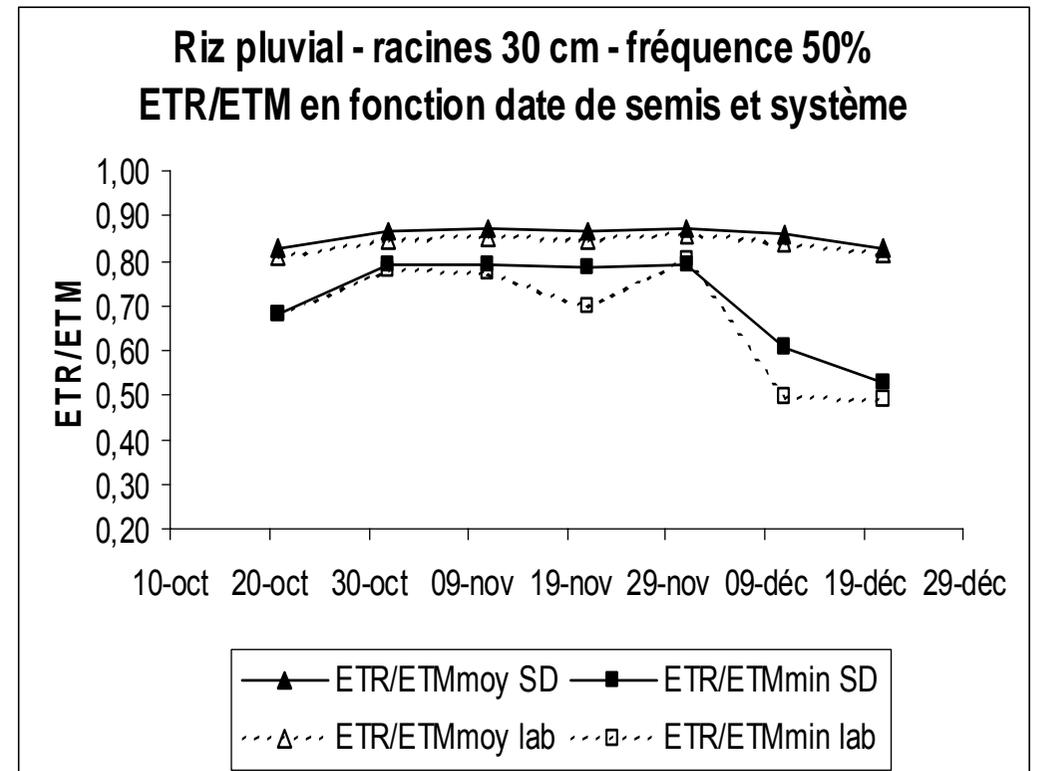
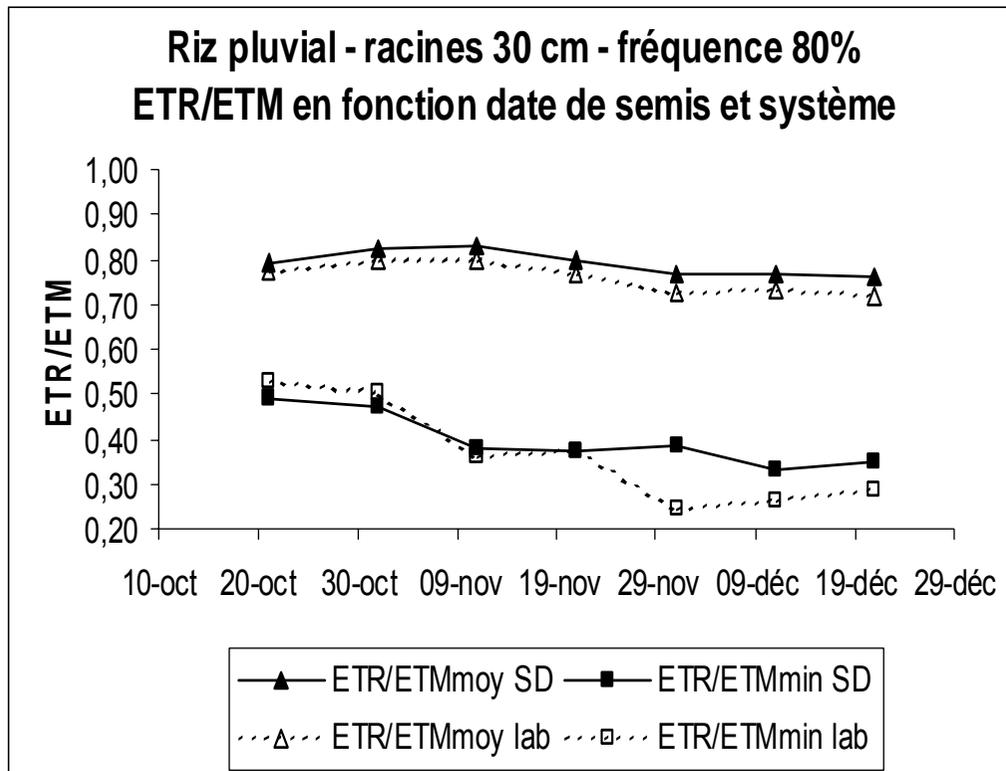
Résultats des simulations

- Si conditions racinaires normales ($\approx 60\text{cm}$) la date de semis influe assez peu sur les conditions hydriques, même pour les années les plus sèches (80%):
 - Risques à l'installation en semis précoce et année sèche
 - Risques en fin de cycle en semis tardif et année sèche
- NB : résultats présentés pour « conditions intensives » (besoins maximisés)
- Faible gain hydrique et risque légèrement réduit en SCV / labour pour semis tardif en année sèche : peut cependant servir à éviter un fort stress



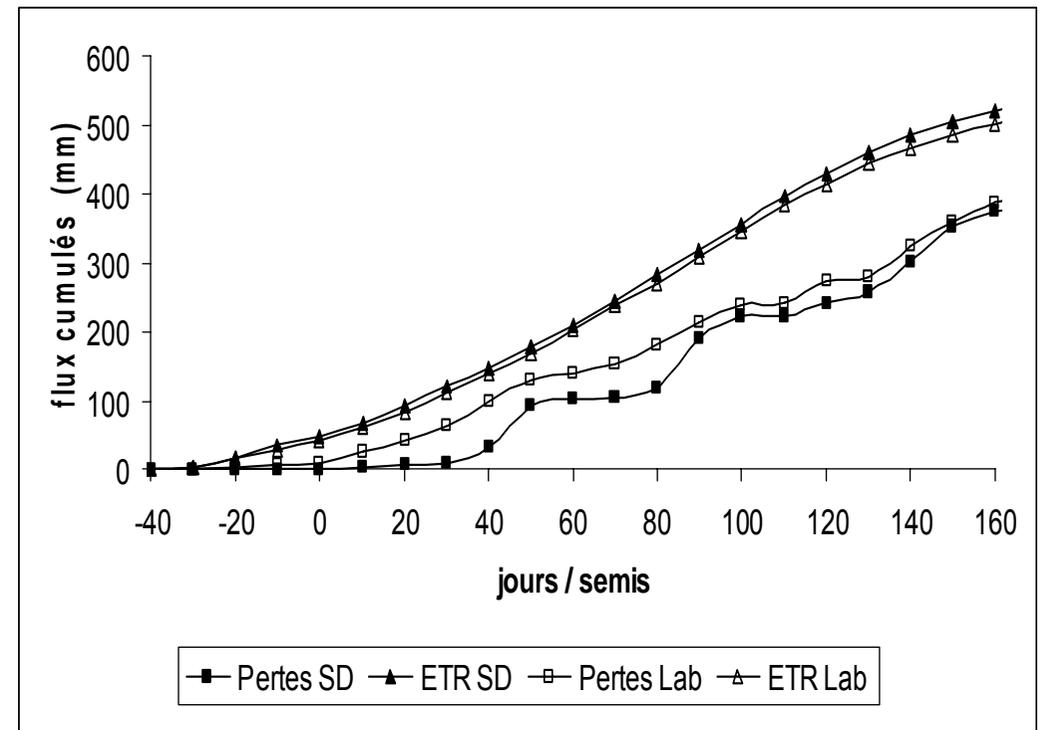
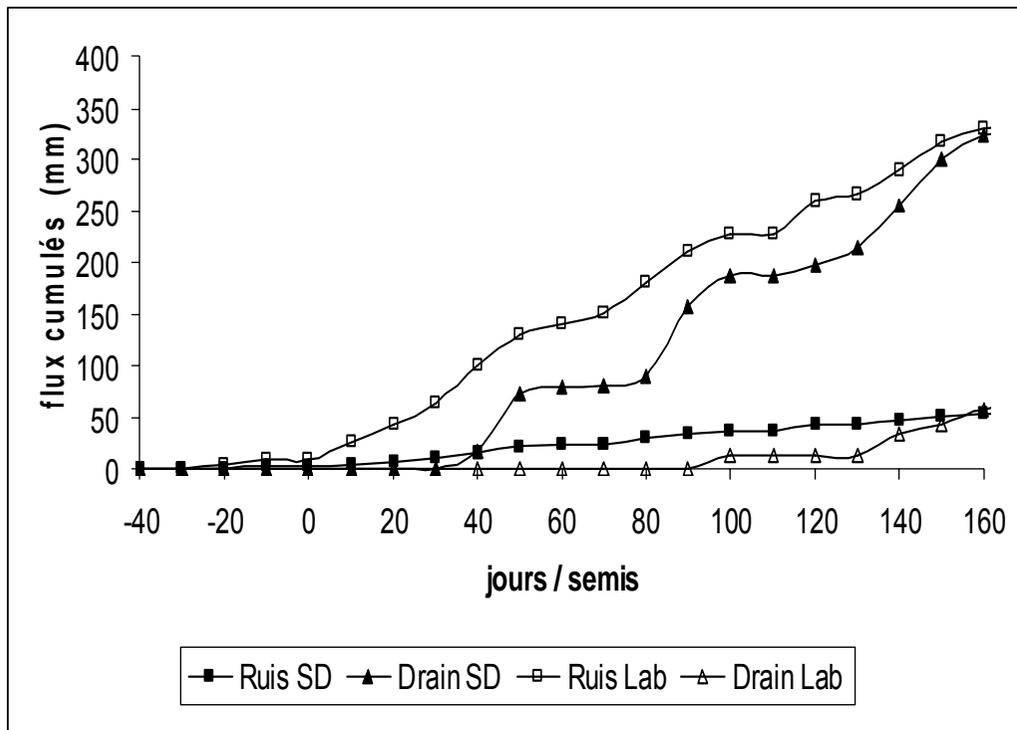
Résultats des simulations

- En cas de racines peu développées ou RU très faible il y a de gros risques à semer après octobre lors des années sèches (parfois $ETa/ET \leq 0,5$) même si l'alimentation est en gros satisfaisante ($ETa/ET \approx 0,75$)
- Pas de différence entre labour et SCV (car profondeur de sol faible : tout part rapidement en drainage)



Résultats des simulations

- Les pertes totales sont fortes: de 35 à 50% des pluies
- Elles sont légèrement moindres en SCV
- Ce qui s'infiltré en plus sous SCV se retrouve en grande partie en drainage:
 - consommations ≈ 500 mm
 - pertes ≈ 380 mm (ruissellements et/ou drainages)



Résultats des simulations

- La gestion du sol affecte très peu les consommations, même s'il y a des petits gains en SCV en semis tardif et année sèche (avec ruissellements maximisés en labour!)
- Le gain en eau infiltrée sous SCV est peu valorisé par les systèmes : ce qui s'infiltré en plus se retrouve en drainage
- En non intensifié (K_c plus faibles; résultats non présentés ici) les gains en SCV sont quasi nuls, et les pertes globales sont encore plus fortes.

Résultats pour la culture dérobée

- SCV est plus favorable pour production de biomasse, mais pas pour du grain (pluies alors très rares, ETo très faibles)
- Sous SCV le semis de la dérobée pourrait se faire 8 années sur 10 jusqu'au 1/02 en SCV mais que jusqu'au 11/01 en labour: donne plus de marge de manœuvre aux paysans

Dernière date de semis possible pour dérobée

		Rac 30 cm		Rac 60 cm		Rac 90 cm	
		/biomasse	/grains	/biomasse	/grains	/biomasse	/grains
F 80%	SD	01-janv	---	01-févr	---	11-févr	11-janv
	lab	---	---	11-janv	---	01-févr	01-janv
F 50%	SD	01-févr	01-janv	21-févr	11-janv	01-mars	01-févr
	lab	01-févr		11-févr	11-janv	21-févr	21-janv
F 20%	SD	11-févr	11-janv	01-mars	21-janv	01-mars	11-févr
	lab	11-févr	11-janv	21-févr	21-janv	01-mars	11-févr

Conclusion générale

- Les mesures de ruissellement ont montré que les ruissellements étaient relativement modérés en labour
- Même en considérant une hypothèse haute de ruissellement en labour (+ négligence eau évaporée par mulch + hypothèse système intensif) on a montré par ailleurs que les gains hydriques en SCV sont très faibles sur les hautes terres
 - et peut-être avantage hydrique du labour en début de cycle (surtout en cas de semis précoce)