

EFFET DU REPORT HYDRIQUE SUR LA SEQUESTRATION DU CARBONE EN ZONE SOUDANO-SAHELIENNE.

VALET S.¹, Ph. LE COUSTOMER² & P.S. SARR³

¹Consultant. 9, rue du Bât d'Argent, 69001, Lyon, France. ²DGA Université de Bordeaux. 1, av. des Facultés, 33405 Talence cedex France. ³CNRA (Centre National de la Recherche Agronomique), BP 53, Bambey, Sénégal.

Résumé

Tous les sols de la zone soudano-sahélienne sont soumis au ruissellement qui provoque une forte érosion. Dans l'objectif de promouvoir un éco-développement alternatif et équitable, un essai de gestion et de valorisation du report hydrique ou *"irrigation naturelle, complémentaire et simultanée à la pluie qui l'a générée en fonction des états évolutifs de surface"* a été réalisé au centre du Sénégal sur la terrasse et le glacis. A l'échelle du champ et pour de très faibles pentes (<1%), le report hydrique joue un rôle essentiel dans la redistribution de l'eau et du carbone organique. Sur la terrasse les stocks hydriques médians du sol mesurés à 5 JAS, 20 JAS et 80 JAS sont de 45 mm, 80 mm et 24 mm (avec des CV de 11, 19 et 25%) sur les bandes protégées du ruissellement et de 84 mm, 118 mm et 41 mm (avec des CV de 18 à 19%) sur les bandes non protégées du ruissellement. Sur le glacis, les valeurs des stocks hydriques médians du sol aux mêmes périodes sont de 30 mm, 49 mm et 8 mm (avec des CV de 10 à 16%) et de 62 mm, 77 mm et 40 mm (avec des CV de 16 à 35%) respectivement sur les bandes protégées du ruissellement et sur celles non protégées. Ces stocks supérieurs sur les bandes non protégées du ruissellement suggèrent l'existence de reports hydriques. Leur variabilité dépend de faibles fluctuations de la pente, de la perméabilité du sol et surtout du micromodelé ; avec le report hydrique les stocks hydriques sur la terrasse sont le plus souvent supérieurs dans les reliefs concaves de 29%, dans les reliefs plans de 74% et ensuite dans les reliefs convexes de 22,5% et sur le glacis respectivement de 13%, de moins 12% et de 33,9%. Le taux en argiles et limons sont plus élevés dans les bandes soumises au report hydrique. Sur 8 cm d'épaisseur de sol, le report hydrique augmente la teneur en carbone organique de 3,74% à 4,25% sur la terrasse et de 3,85% à 4,32% sur le glacis. Sur 20 cm le gain représente 10 à 8,3 Tha^{-1} de C. Sur la terrasse la relation est étroite entre les argiles et le carbone organique et normalement positive ; alors que sur le glacis la relation est faible et négative. L'effet symbiotique de l'accroissement simultanée du stock hydrique et de la fertilité entraîne une augmentation proportionnelle de la biomasse totale (paille, épis, grains et racines) du mil. Elle explique l'accroissement des rendements médians de mil de 135 à 575 kg ha^{-1} sur la terrasse. Sur le glacis soumis à un ruissellement et à un drainage plus importants que sur la terrasse qui réduisent ses reports hydriques les rendements sont de 500 sans report et 300 kg ha^{-1} avec report. Cette augmentation complexe et moins lisible que celle des stocks hydriques dépend du comportement et du fonctionnement hydrodynamiques spécifiques des deux unités géomorphologiques et de leur érodibilité. Dans les zones arides, ce stockage déjà hétérogène est certes faible mais concerne de vastes surfaces. Ainsi, le double concept de la séquestration du carbone organique et de l'accroissement de la biomasse due au report hydrique qui crée un puits de carbone organique où ce report hydrique s'infiltré, rapidement et à moindre coût, participe efficacement, à la lutte contre l'effet de serre. Il devrait être à la base d'une nouvelle stratégie d'éco-développement alternatif et équitable au Sahel.

Mots-Clés : Report hydrique, ruissellement, drainage, carbone organique, séquestration, biomasse, Sénégal.

RUN-ON EFFECT ON ORGANIC CARBON SEQUESTRATION IN SUDAN-SAHELIAN ZONE.

Abstract

All soils are degraded by run-off and erosion in sudan-sahelian zones. To promote the alternative and sustainable development a trial about management and valorization of run-on, as "a natural, complementary and simultaneous irrigation from rainfall in according to surface state evolving" was carried out in Senegal on the terrace and the footslope. At field scale and in spite of very low slope gradient (<1%), the run-on plays an essential part for water, clay+silt and OC distribution within topsoil. The deposition of OC is observed where the run-on infiltrated itself. With run-on the soil water content (SWC) at 5, 10 and 80 DAS increased from 45, 80, 24mm (CVs : 11 to 27%) to 84, 118 and 41 mm (CVs : 12 to 23%) on the terrace ; on the footslope from 30, 49 and 8 mm to 62, 77, and 40 mm (CVs: 16 to 36%). This depends on microtopography particularly. With run-on, the SWC increased about 29% on concav form, 74% on plan form and 22,5% on convex form on terrace but lowly on the footslope with respectively 13%, less 12% and 33,9% in according to most run-off. The silt plus clay increased from 8,9% to 11% on the terrace but decreased from 14 to 13% on the footslope. The SOC content with run-on increased from 3,76 to 4,25% on terrace and on the footslope from 3,85 to 4,82%. This increasing is very complex and less clear than this of moisture stocks. It depends on hydric specific behaviour and acting of the two ecosystem units and so their erodibility. The symbiotic effect of simultaneous increasing of water content and fertilization leads to the millet biomass increasing (spikes, straw, grains and root). The run-on effect produce the millet grain median yield increased from 135 to 575 kg ha⁻¹ on terrace; but on the footslope the yield decreased from 500 to 300 kg ha⁻¹ because of significantly run-off effect. The run-on multiscale acting which participated to the increased OC sequestration within topsoil and the biomass too, may be studied because of its action against greenhouse effect rapidly and less costly. So the OC sequestration-biomass increase concept due to the run-on which creates an OC pool could be at the basis of new strategy of alternative and sustainable eco-development.

Key-words : Run-on, run-off, drainage, OC, sequestration, biomass, Senegal.

I) OBJECTIF

Le XXI^{ème} siècle doit résoudre les problèmes de pauvreté, d'autosuffisance alimentaire, de restauration des sols naturels et cultivés et de lutte contre les émissions de carbone gazeux dans l'atmosphère. Ce constat est alarmant : 790 millions de personnes dans les pays en voie de développement dont les 2/3 en Afrique ne peuvent pas satisfaire leur besoin alimentaire ; des millions d'hectares sont dégradés par l'érosion, la pollution et la salinisation entraînant une baisse de surface des terres arables et de leur productivité. L'autosuffisance alimentaire, qui est basée sur la révolution verte, intensification des monocultures, et le recours à l'irrigation n'ayant pas tenu ses promesses, est un échec (Valet, 1999). Or cet échec était prévisible déjà en 1970 avant l'installation de la sécheresse (Valet, 2000). La baisse de fertilité des sols de l'Afrique subsaharienne a été attribuée à la baisse du niveau de carbone organique des sols (Piéri, 1989). La déforestation, pour la mise en culture, provoque une baisse de 30 à 40% du stocks humique des sols des forêts (Feller, 1991). La diminution de la durée et de la superficie des jachères réparatrices ne permet pas la restauration de ces stocks. Il faut donc concevoir au plus tôt une stratégie de gestion, d'accumulation et de conservation pédologique et biologique du carbone organique. Des techniques biologiques pour réhabiliter les sols dégradés associés à la gestion et à la valorisation du report hydrique sont maintenant

fiables et de plus en plus connues d'autant que certaines sont empruntées aux savoirs paysans (Valet et al., 2002). Ce report hydrique se définit comme une "irrigation naturelle, complémentaire et simultanée à la pluie qui l'a générée en fonction des états évolutifs de surface" (Valet et Sarr, 1999a). A l'échelle du versant en zone soudano-sahélienne, cette gestion du report hydrique améliore le transfert hydrique et des nutriments et provoque une augmentation de la biomasse aérienne et souterraine (Beyer et al., 1998 ; Zheng et al., 2000 ; Valet et al., 2002). Cette étude a pour objectif de vérifier à l'échelle du champ : i) l'existence et l'efficacité du report hydrique sur la séquestration du carbone organique et l'augmentation de la biomasse, ii) leur redistribution et iii) la possibilité d'identifier les indicateurs expliquant leur variance.

II) METHODE ET MATERIEL

L'étude a été réalisée dans le Centre Sénégal à Thyssé (Valet et Sarr, 1999a). Le climat, de type soudanien est caractérisé depuis la sécheresse par une pluviosité moyenne de 550 mm environ. La pluie totale en 1984 a été de 350 mm, concentrée de juin à septembre. L'essai a été conduit dans des champs paysans installés sur le glacis (sol ferrugineux tropical argilo-sableux) et sur la terrasse colluvio-alluviale située à cent mètres (sol ferrugineux tropical à taches et à concrétions sablo-limono-argileux) (Bertrand, 1976). Seules les bandes B-I₁₋₂, C, D et G sont protégées du ruissellement amont par une grosse butte (Fig.1). Quatre placettes de

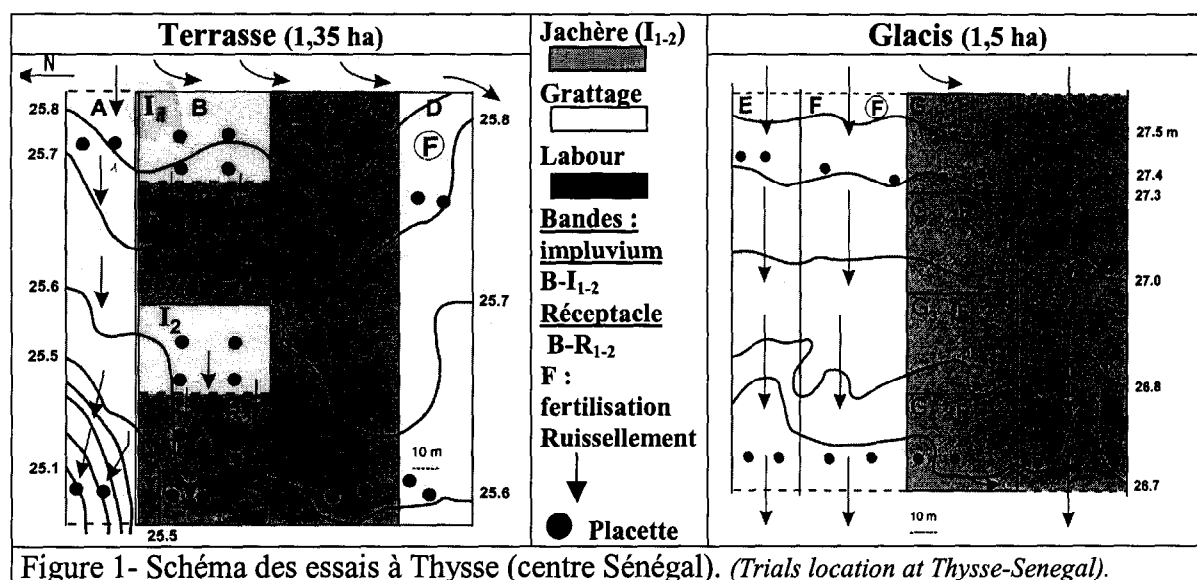


Figure 1- Schéma des essais à Thyssé (centre Sénégal). (Trials location at Thyssé-Senegal).

60 m² à chaque coin des bandes, ont été utilisées pour les observations, les mesures et les analyses. Un suivi des profils hydriques a été réalisé toutes les semaines avec une tarière à main tous les 10 cm sur 3 m de profondeur. L'analyse classique du sol (texture, pH_{eau}, Carbone Organique), la mesure de la densité apparente (densitomètre à membrane de 1 litre) et la conductivité hydraulique (Ks) ont été exécutées à la récolte. La pente et le micromodèle de chaque placette de mesure ont été identifiés : formes concave, plan et convexe. Ces bandes sont semées avec un mil (*pennisetum thyphoides*) de 90 jours de cycle le 11 juin 1984 sur la terrasse et le 25 juin sur le glacis après grattage et labour. Les bandes B-R₁, C, D, G et H ont reçu 150 kg ha⁻¹ de NPK (6-20-10) et 100 kg ha⁻¹ d'urée épanchés en deux fois. La récolte a porté sur le poids des racines, des épis vides (incomplètement fécondés) et pleins, de la paille et des grains. La densité apparente diminue de la jachère non travaillée (1,63), au grattage (1,48 à 1,55) et au labour (1,43 à 1,49). Le calage entre les stocks hydriques du sol mesurés *in situ* et simulés et entre le drainage calculé à l'aide des valeurs de pédotransfert ($K\theta$ et $\Psi\theta$) et

simulé a permis d'obtenir les autres termes du bilan hydrique avec une bonne approximation à l'aide du logiciel BIPODE (Valet et Sarr, 1999b). Les Kc du mil ont été empruntés à la littérature.

III) RESULTAT

3.1) Variabilité du fonctionnement hydrique des unités géomorphologiques

3.1.1) Terrasse

Les CV et les valeurs des stocks hydriques mesurés des sols disponibles à différentes dates du cycle du mil et des termes simulés du bilan hydrique dans les bandes non protégées du ruissellement sont significativement supérieurs à ceux des bandes protégées (Tableau 1-A). Les pentes moyennes des placettes, inférieures à 1%, sont légèrement plus variables et irrégulières dans les bandes non protégées du ruissellement amont que dans les autres. L'intensité d'infiltration variant de 7 à 14 cm h⁻¹ est bonne. La réorganisation superficielle du sol est plus faible donnant un encroûtement moins net et moins généralisé que sur le glacis.

Tableau 1– Moyenne, CV et médiane, des pentes, du Ks, des stocks hydriques mesurés des sols et des termes simulés du bilan hydrique (mm) du mil (Souma III- cycle 90jours) dans les bandes protégées ou non du ruissellement sur la terrasse et le glacis à Thyssé (1984). (Mean, CVs, median of measured slopes, Ks, soil moisture content and simulated terms of millet hydric balance above and below strips with or without run-on of the terrace and the footslope at Thyse-1984).

Unités géomorphologique	Paramètres du bilan hydrique (mm)	Bandes					
		Protégées du ruissellement			Non protégées du ruissellement		
		Moy	CV%	Méd.	Moy	CV%	Méd.
A-Terrasse	Pentes placettes %	0,56	31	0,51	0,8	54,2	0,63
	Stocks 5 JAS*	42	11,5	45	59	19,3	84
	hydriques : 20 JAS	78	19,5	81	101,6	18,2	118
	mm 60 JAS	21,9	24,8	24,9	31,7	25,4	30
	80 JAS	16,5	27,6	19,5	25	23,4	41
	105 JAS	21,1	25,1	24,1	33	19,5	64
	Ruissellement	31	41,9	18	18,2	144,9	0
	Report hydrique	0	0	0	94,2	29,7	77
	Drainage	0	0	0	41,8	69,8	30
	ETR	193	2,34	188	252	11,5	241
	Ks cm h ⁻¹	7 à 14					
Répétitions	8			12			
B- Glacis	Pentes placettes %	0,54	31,1	0,53	0,51	31	0,46
	Stocks 5 JAS	38,5	12,9	30	53,6	16,5	62
	hydriques : 20 JAS	55,5	13,3	49	92,6	23,5	77
	mm 60 JAS	21,7	15,9	31	48,2	21,6	48
	80 JAS	16,6	16,6	8	38,5	22,5	40
	105 JAS	23,7	9,2	25	44	34,7	50
	Ruissellement	20	78,4	15	52,8	60,8	40
	Report hydrique	0	0	0	36,1	65,7	26
	Drainage	7	100,5	0	22,3	105,3	16
	ETR	195	13,31	190	188	9,6	189
	Ks cm h ⁻¹	2 à 5					
Répétitions	4			12			

* JAS : jour après semis. (DAS : day after seeding).

3.1.2) Glacis

La variabilité des CV et des valeurs des stocks hydriques des sols disponibles à différentes dates du cycle du mil et des termes du bilan hydrique mesurés et simulés est pareillement plus

élevée dans les bandes non protégées du ruissellement amont (Tableau 1-B). Mais les valeurs comparables dans les bandes protégées à celles de la terrasse sont nettement plus faibles dans les bandes non protégées que celles sur la terrasse. Les pentes moyennes des placettes sont identiques dans toutes les bandes. Le ruissellement simulé et le drainage sont nettement plus élevés que sur la terrasse expliquant la faible valeur de l'évapotranspiration dans les bandes soumises au ruissellement entrant. Cela peut résulter aussi d'une intensité d'infiltration de moitié plus faible que sur la terrasse.

3.2) Variabilité pédologique et agronomique

Les résultats d'analyse des horizons superficiels des sols du glacis et de la terrasse montrent une grande variabilité du taux d'argiles et limons et du carbone organique ainsi que du pH. Les valeurs sont plus grandes dans les bandes non protégées du ruissellement que dans les bandes protégées sauf pour les argiles et limons sur le glacis (Tableau 2).

Tableau 2- Effet du report hydrique sur la redistribution des argiles et limons, l'augmentation du pH, la séquestration du carbone organique, le rendement moyen (kg ha^{-1}) des pailles, des épis fécondés et vides et des grains du mil sur la terrasse et le glacis dans les bandes protégées ou non du ruissellement (valeurs moyennes) (1984). (*Run-on effect on the clay+silt distribution, pH increasing, OC sequestration and straw and full and empty spikes and grains yield above and below strips with or without run-on on the terrace and the footslope-1984*).

Unités géomorphologiques	A- Terrasse				B- Glacis			
	Oui		Non		Oui		Non	
Protection contre le ruissellement	Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval
Position sur la parcelle								
AL%* 0-8 cm	10,2	8,9	11,1	11,7	13,7	14,2	11,1	11,5
8-20 cm	11,2	9,5	12,2	12,8	17,8	17	14,3	15,2
C% 0-8 cm	4,03	3,56	4,17	4,43	4,09	3,8	4,25	4,09
8-20 cm	3,82	3,57	3,73	4,01	3,58	3,62	4,1	3,75
pH 0-8 cm	6,01	5,86	6,11	6,22	5,85	5,82	6,24	6,2
8-20 cm	5,87	5,9	5,74	5,87	5,74	5,83	5,98	6,01
Paille	3159	3686	4349	3159	3789	3605	2299	2112
Poids épis fécondés	310	339	1445	988	831	947	489	837
Poids épis vides	186	188	105	186	155	126	179	107
Grains	158,5	184,3	505	940	453	548,5	219,2	461,5
Racines (0-30 cm) g kg^{-1}	13,13	9,34	9,62	14,73	24,34	18,94	19,09	12,2
Répétitions	4	4	6	6	2	2	6	6

* AL : argiles+limons.

Ces différences sont bien plus fortes dans l'horizon 0-8 cm que dans l'horizon 8-20 cm. Les différences amont-aval montrent que les valeurs sont plus élevées en aval qu'en amont sans protection contre le ruissellement sauf pour le carbone organique et le pH du glacis. Les épis pleins sont plus pesants que les épis incomplètement fécondés sur les bandes non protégées de la terrasse que sur les bandes protégées mais c'est l'inverse qui est enregistré sur le glacis. Le poids de paille et des grains est plus élevé sur les bandes non protégées que celles protégées de la terrasse mais non sur le glacis. Les rendements extrêmes de cette année particulièrement sèche varient de 143 à 1273 kg ha^{-1} . Dans les bandes protégées les rendements sont supérieurs sur le glacis à ceux de la terrasse car les sols y sont légèrement plus fertiles. Ils sont supérieurs en amont sous report hydrique sur la terrasse et en aval sur le glacis. Dans les bandes protégées du ruissellement les rendements sont peu différents. La biomasse racinaire présente une grande variabilité due à l'influence dominante du travail du sol et de la fertilisation.

IV) DISCUSSION

4.1) Existence du report hydrique

Les stocks hydriques des sols les plus importants mesurés dans les bandes non protégées du ruissellement des deux unités ne correspondent pas à une meilleure infiltration car leur somme dépasse significativement les pluies correspondantes en l'absence de ruissellement, alors que dans les bandes protégées ils sont voisins ou inférieurs à la pluviométrie enregistrée (Fig. 2).

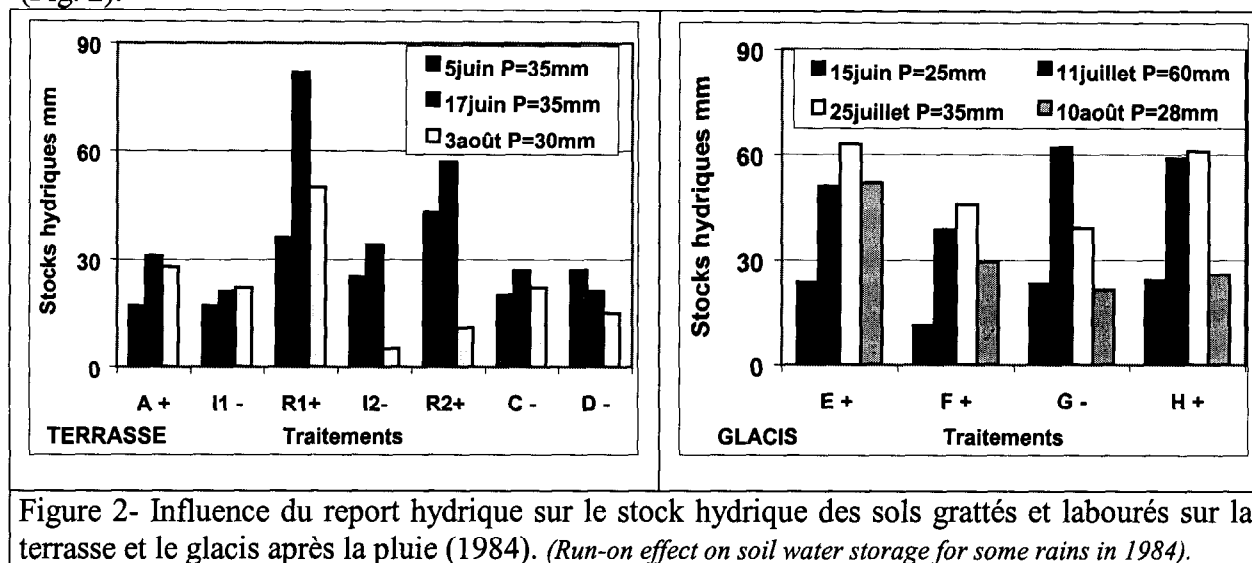


Figure 2- Influence du report hydrique sur le stock hydrique des sols grattés et labourés sur la terrasse et le glacis après la pluie (1984). (*Run-on effect on soil water storage for some rains in 1984.*)

Les impluviums B-I₁ et I₂, protégées du ruissellement, ont des stocks bien inférieurs à la pluie et ceux de R₁ R₂, réceptacles, sont corrélativement plus élevés que la pluie. Ceci ne s'observe pas dans les bandes A, F et H qui présentent un fort ruissellement qui annule en partie le report hydrique. Le ruissellement apparaît pour des pentes moyennes supérieures à 0,5% environ. C'est pourquoi dans les bandes C et D de la terrasse de pente moyenne inférieure à 0,3% et protégées du ruissellement, les placettes situées en amont ne présentent qu'un ruissellement faible et celles aval, situées à cent mètres plus bas, ne reçoivent aucun report hydrique significatif. Les placettes amont mais aussi aval des autres bandes non protégées plus pentues que les précédentes présentent un report hydrique significatif variable. Ce report hydrique apparaît donc à l'échelle du champ pour des pentes inférieures à celles données dans la littérature, pentes de 2 à plus de 15 %, sur versant argilo-sableux et dans les zones interdunaires sableuses (Siccart et Marini, 1991 ; Afyuni et al., 1993). A l'échelle du champ, sa variabilité est dépendante de la pente, du travail du sol mais surtout du micromodelé (Fig. 3). Cette action du micromodelé apparaît plus importante sur la terrasse que sur le glacis et maximum sous report hydrique et sous labour pour tous les paramètres. Les valeurs de l'humidité du sol mesurée, de la consommation en eau simulée, des argiles et limons, du carbone organique, du pH et du rendement du mil-grains sont toujours plus élevées sur le micromodelé concave que convexe. Les valeurs pour le modelé plan sont le plus souvent intermédiaires. Ceci explique le constat fait par Manu et al. (1996) au Niger sur la relation statistique entre les aires non productives situées sur micro-buttes à faible teneur en P₂O₅, et C et celles

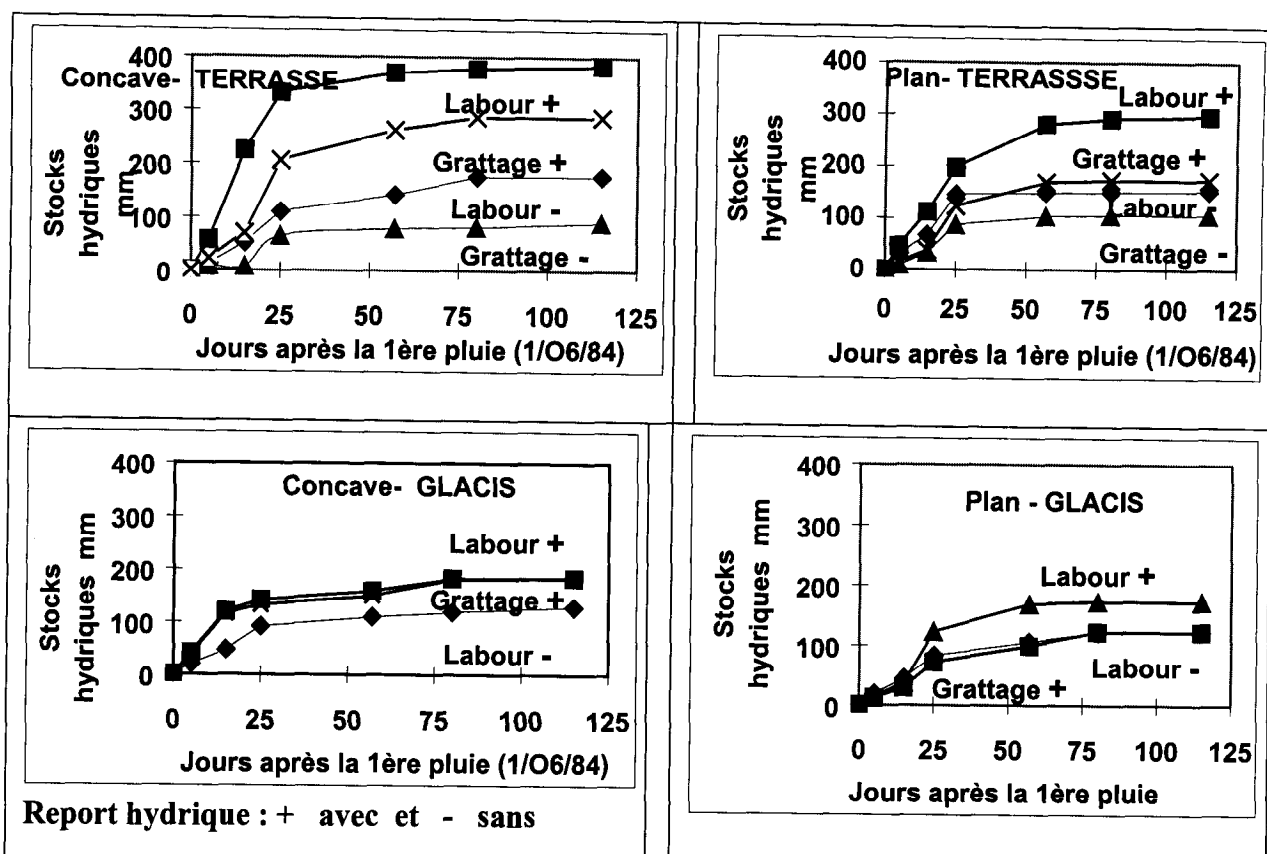


Figure 3- Influence du report hydrique sur les stocks hydriques cumulés des sols en fonction du travail du sol, du micromodelé et du type de sol au cours du cycle pluviométrique.
(Run-on effect on cumulated soil moisture storage according to tillage and micromorphology of the terrace and the footslope unities during rainfall cycle).

productives situées dans des micro-dépressions. Ceci explique la variance des rendements (Tableau 3). Les différences faibles des pentes mais aussi les différences du double de l'intensité d'infiltration et un encroûtement moins développé sur la terrasse que sur le glacis expliquent que les stocks hydriques du sol y soient plus importants dans les bandes soumises au report hydrique accompagné ou non d'un fort drainage.

Tableau 3- Influence du micro-modelé sur l'humidité des sols 20 jours après semis, l'ETR simulée, A+L, le carbone organique, le pH et le rendement-grain moyen du mil (kg ha^{-1}) dans les bandes soumises ou non au report hydrique sur la terrasse et le glacis. *(Effect of microtopography on soil water content (days after seeding 20), AET, clay+silt, OC, pH and millet grains yield with or without run-on on the terrace and the footslope- 1984).*

Unités Géomorphol.	Bandes Micro-modelé	Sans report hydrique			Avec report hydrique		
		Convexe	Plan	Concave	Convexe	Plan	Concave
Terrasse	Hv mm (20 JAS)	129	115	182	158	200	235
	ETR mm	188	194	197	215	260	263
	A+L % (0-8 cm)	10	9,6	8,5	10,8	12,2	8,4
	C % (0-8 cm)	3,64	3,57	3,84	4,13	3,95	4,41
	pH % (0-8 cm)	6,23	6,19	6,2	6,25	6,27	6,29
	Rdt kg ha^{-1}	143	189	205	279	859	1093
	Glacis	Hv mm (20 JAS)	170	182	161	127	160
ETR mm		156	185	226	164	184	197
A+L % (0-8 cm)		15	14,2	13	12,5	11,5	10,6
C % (0-8 cm)		3,86	3,96	4,42	4,34	4,04	4,31
pH % (0-8 cm)		5,8	5,89	5,88	6,12	6,45	6,34
Rdt kg ha^{-1}		199	368	898	332	357	433

A l'échelle du champs le drainage corrélé au report hydrique ne correspond pas à une perte en eau pour la plante contrairement à une croyance généralement admise par les agronomes (Pérez, 1994). Car il s'opère après le remplissage et la saturation du sol. C'est bien une perte hydrique pour les placettes et les champs aval par réduction ou suppression du ruissellement puis du report hydrique qu'il crée. Ces résultats suggèrent que le ruissellement, le report hydrique et le drainage ne se compensent pas dans ces bandes formant un système ouvert et ils infirment ainsi les assertions de Gaze et al. (1997). Ces derniers considèrent qu'à l'échelle de la parcelle le ruissellement et le report hydrique peuvent être négligés car l'augmentation du drainage au point du report hydrique est compensé par sa baisse au point du ruissellement.

4.2) Influence du report hydrique sur la biomasse

4.2.1) Production racinaire

Les stocks hydriques mesurés 60 JAS dépendant des reports hydriques reçus expliquent pour 52 à 67% la variance du rendement racinaire respectivement avec et sans fertilisation sur la terrasse et pour 14 à 78% sur le glacis. Le rendement est systématiquement inférieur en absence de fertilisation (Fig. 4a-b).

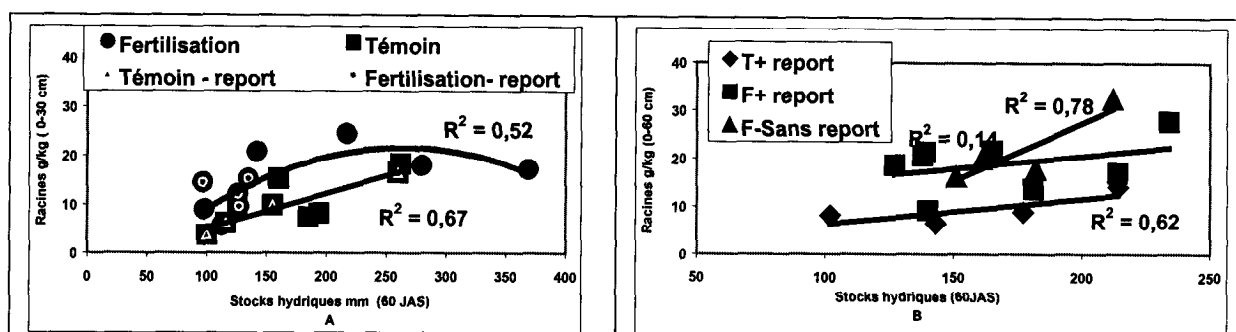


Figure 4- Relation entre le stock hydrique à 60 JAS et le rendement racinaire (0-30 cm) sur A: terrasse et B: glacis – sans report et + avec. (Cumulated water storage versus root yield (0-30 cm) in A: terrace and B: footslope).

4.2.2) Production de grains

La différence de production de mil des deux unités s'explique par des propriétés physiques influençant leur fonctionnement hydrique. Le sol de la terrasse moins argileux est plus perméable et privilégie l'infiltration d'un report hydrique plus élevé car la pente est sensiblement plus forte ; alors que celui du glacis moins perméable provoque le ruissellement le plus important.

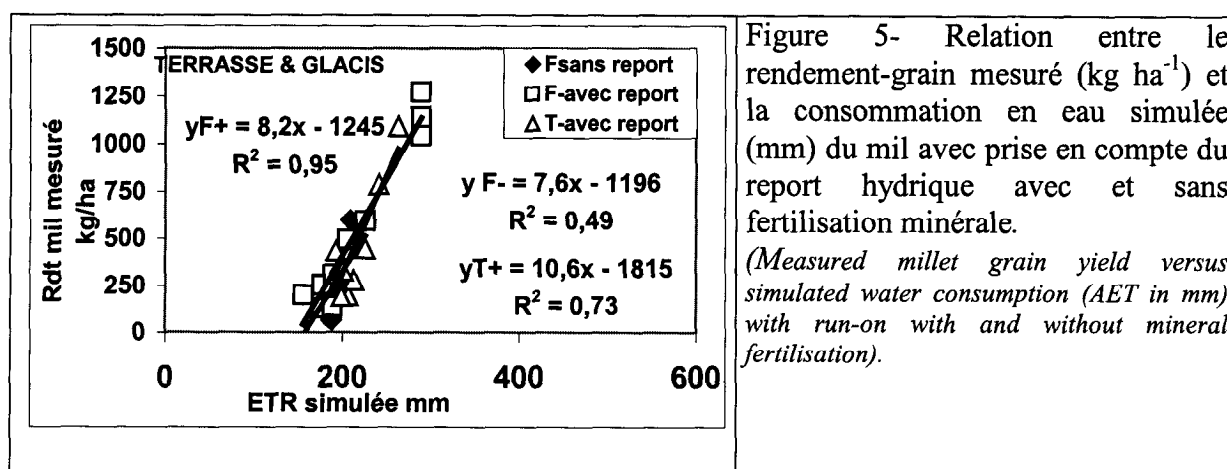


Figure 5- Relation entre le rendement-grain mesuré (kg ha⁻¹) et la consommation en eau simulée (mm) du mil avec prise en compte du report hydrique avec et sans fertilisation minérale. (Measured millet grain yield versus simulated water consumption (AET in mm) with run-on with and without mineral fertilisation).

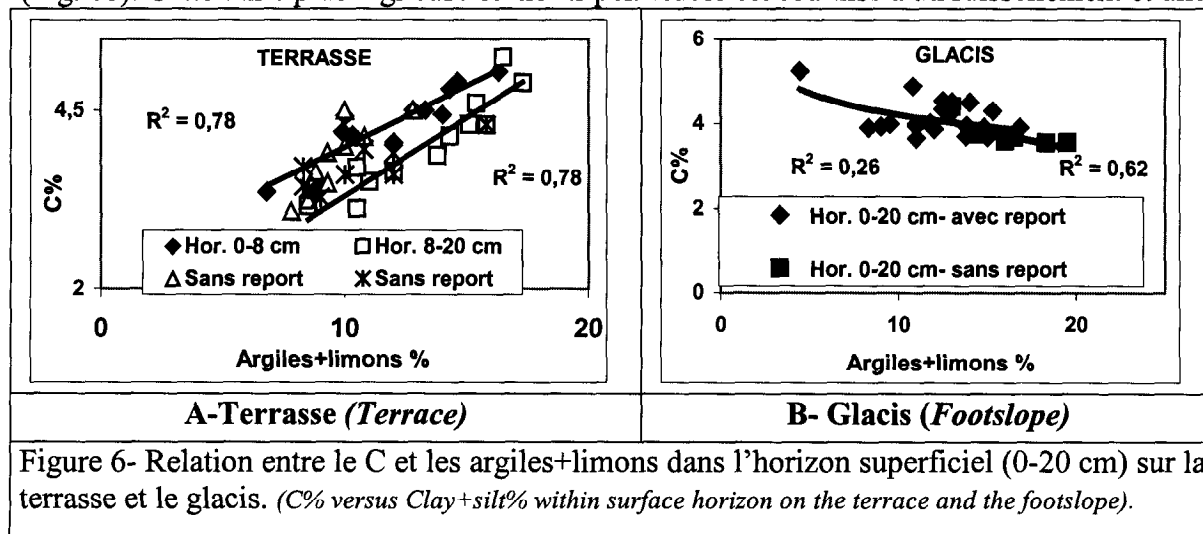
En absence de report hydrique et de ruissellement sur la terrasse notamment les rendements sont quasiment identiques en amont et en aval des bandes (Tableaux 2). La relation entre le rendement-grain du mil mesuré et la consommation en eau simulée confirme que ces flux hydriques superficiels expliquent le mieux la variabilité de la production du mil sur la terrasse comme sur le glacis (Fig. 5). Cette relation est meilleure pour les bandes enrichies en report hydrique avec engrais ($R^2=0,95$) et sans ($R^2=0,73$) que pour les bandes témoins avec engrais sans report hydrique ($R^2=0,49$). L'efficacité de l'eau consommée est supérieure dans les bandes sans engrais mais avec report hydrique ($10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), puis avec engrais et report ($8, \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) puis sans report ($7,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$). Le signal de la fertilisation est brouillé par celui du report hydrique. Valet et al. (2000), dans un micro-bassin de deux hectares et demi installé sur la terrasse, ont vérifié que le report hydrique augmente considérablement la biomasse aérienne mais aussi dans une moindre proportion celle souterraine sauf les années très pluvieuses qui n'apparaissent seulement que deux années sur dix. Ainsi à l'échelle du champ, ces simulations montrent donc que contrairement aux affirmations de Lal (1991) et de Klaij et Vachaud (1992) les flux de surface ne sont pas égaux à zéro et par conséquent ils ne peuvent donc pas être ignorés pour le calcul du bilan hydrique.

4.3) Influence du report hydrique sur la séquestration du carbone organique

La proportion systématiquement plus élevée de carbone organique sur 20 cm d'épaisseur dans les bandes soumises au report hydrique confirme sa participation efficace à la séquestration du carbone organique à l'endroit où il s'infiltré. Ceci s'opère indépendamment de l'effet propre sur la quantité de matière organique en fonction de chacun des systèmes culturaux utilisés (Brossard et. Frossard, 1991). Cette séquestration s'opère dès la première année. Elle s'accompagne d'une augmentation du pH plus forte en surface qu'en profondeur (Tableau 5). Valet et Sarr (1999c) ont vérifié que dans des sédiments érodés et piégés dans des fosses d'érosion situées sur les mêmes unités, à quelques dizaines de mètres, avec le carbone organique d'autres nutriments (P_2O_5 et cations échangeables : Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ et K^+) migrent et se déposent en forte quantité. Une augmentation de 0,34% de C sur 20cm de sol sur la terrasse et de 0,27% sur le glacis correspond à un gain respectivement de 10 et 8,3 T ha^{-1} environ de C ou 37,6 à 30,4 T ha^{-1} de CO_2 .

4.3.1) Relation avec la texture

Cette accumulation de carbone organique est corrélée positivement à celle des argiles et limons sur la terrasse comme cela a été démontré sous tout climat en Afrique et au Brésil (Jones, 1973 ; Lepsch et al., 1982) (Fig. 6a). Sur le glacis, par contre, la relation est négative et faible comme perturbée par le processus érosif, spécifique à cette unité, qui le gouverne (Fig. 6b). Cette unité plus argileuse et moins perméable est soumise à un ruissellement et une



érosion simultanée plus importants que sur la terrasse et donc à une redistribution importante et hétérogène des argiles et limons. Ce comportement s'opère à des pas de temps différents. En effet, dans l'essai sur ces champs, le temps de stockage du carbone organique dans la végétation et les sols est plus court (cycle cultural) que celui de la redistribution des éléments fins qui se sont accumulés ou qui transitent au cours de cycles pluriannuels.

4.3.2) Relation avec le report hydrique

A l'échelle du champ pour de très faibles pentes, la redistribution du carbone organique est beaucoup plus complexe et moins lisible que celle des stocks hydriques (ruissellement, report hydrique et drainage). Toutefois, l'influence du report hydrique sur le carbone organique apparaît seulement pour un certain nombre de placettes bien caractérisées morphologiquement (Fig. 7). Ce comportement erratique serait dû à la superposition de l'effet indépendant de ces

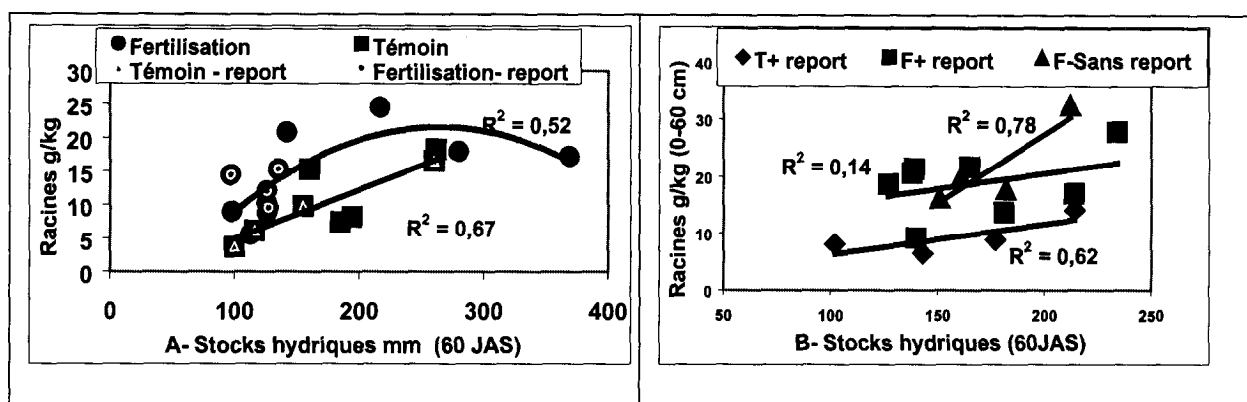


Figure 7- Relation entre le stock hydrique à 60 JAS et le rendement racinaire (0-30 cm) sur A: terrasse et B: glacis. (Cumulated water storage versus root yield (0-30 cm) in A: terrasse and B: footslope).

paramètres locaux qui opèrent à des échelles discrètes comme cela a été observé pour la migration de l'argile à l'échelle d'un versant en France et aux USA (Bartoli et al., 1995 ; Burrough J., 1983). Or l'augmentation du pH liée à celle des nutriments dans ces deux unités, due au report hydrique et accompagné d'un drainage plus ou moins important, infirme la croyance des agronomes qui expliquent que les nombreuses taches acides et infertiles (de quelques m² à 100 m² environ) observées en sol Dior sableux (Sénégal) et en sol brun eutrophe (Burkina) sont dues à la lixiviation des cations dans les zones à risque de drainage et de lixiviation des cations (Piéri, 1976). Manu et al. (1990) et Valet (2000) ont démontré que ces taches stériles étaient en fait dues à l'épuisement des nutriments car elles sont situées en zones imperméables convexes sous un fort encroûtement. Ainsi il est confirmé que le report hydrique assure une recharge en nutriments et qu'il joue un rôle non négligeable dans la fertilisation. Ceci explique sans doute en grande partie les rendements du mil quasiment voisins sous report hydrique en placettes avec et sans apport d'engrais et largement supérieurs à ceux des placettes fertilisées mais sans report hydrique (Valet et al., 2000 ; Valet et Sarr. 1999b). Ces transferts de nutriments et de carbone organique accompagnés du redressement du pH sont à rapprocher de ceux mesurés dans les dépôts éoliens (Modi et al., 1995). De tels transports et dépôts de sédiments par le report hydrique ont été également enregistrés mais à l'échelle du versants avec des pentes plus élevées, de 5 à 35%, qu'à Thyse, sur sol dunaire sableux en Israël et sur sol limoneux en Chine (Beyer et al., 1998 ; Zheng et al., 2000). Sur la terrasse comme sur le glacis, à l'exception des années pluvieuses observées deux années sur dix, c'est l'eau et non la fertilisation qui joue le rôle primordial dans l'élaboration de la biomasse. Le report hydrique contribue rapidement par la captation et la séquestration pédologique et biologique du carbone organique à la baisse de la pollution atmosphérique. Il participe ainsi efficacement à la lutte contre l'effet de serre.

V) CONCLUSION

En zone soudano-sahélienne, à l'échelle du champ, les résultats de cette étude démontrent que le report hydrique, partie positive du ruissellement assimilée à une irrigation complémentaire, assure le transfert de la fertilité et participe à la séquestration pédologique et biologique du carbone organique là où il s'infiltré. Sur 20 cm le gain représente 10 et 8,3 T ha⁻¹ de C respectivement sur la terrasse et le glacis. Ceci contribue à une première approche d'un phénomène concernant l'accumulation et la séquestration de carbone organique qui reste encore mal connu. Une bonne corrélation existe entre le taux de carbone organique et celui des argiles et limons qui est positive sur la terrasse et négative sur le glacis en relation avec la réaction spécifique aux flux hydriques superficiels de ces deux types de sol. Le comportement différent de ces paramètres s'opère à des pas de temps contrastés : cycle annuel pour le carbone organique et cycles pluriannuels pour la redistribution des éléments fins érodés. L'augmentation de la biomasse totale liée à l'augmentation de la satisfaction hydrique (chaque millimètre d'eau supplémentaire consommée produit 7,6 à 10 kg ha⁻¹ de grains en plus ainsi qu'une plus grande quantité de paille, d'épis et de racines et du dépôt de nutriments forme un puits de carbone organique conséquent. Son piégeage requiert des techniques appropriées qui prennent en compte leur différence de perméabilité et d'érodibilité (Valet, 2000). Dans les zones arides, ce stockage déjà hétérogène est certes faible mais concerne de vastes surfaces. Les perturbations climatiques et anthropiques à des rythmes spatio-temporels différents ne favorisent pas une bonne connaissance de l'évolution de la capacité de stockage des systèmes naturels et agraires. A cause de tous ces facteurs antagonistes, il n'est pas possible actuellement d'établir une bonne prédiction de cette séquestration qui demanderait des études pluridisciplinaires. La gestion et la valorisation agro-forestières du report hydrique dépasse de loin la nécessité d'assurer l'autosuffisance alimentaire et la réhabilitation des sols dégradés par cette nouvelle stratégie d'éco-développement alternatif et équitable. Son rôle dans la constitution d'un puits de carbone organique écologique contribuant à la baisse de la pollution atmosphérique participe efficacement, rapidement et à moindre coût à la lutte contre l'effet de serre.

VI) BIBLIOGRAPHIE

- Afyuni M.M., D.K. Cassel, and W.P. Robarge, 1993. Effect of landscape position on soil water and corn silage yield. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:1573-1580.
- Bartoli F., G. Burtin, J.J. Royer, M. Gury, V. Gomendi, R. Philip, Th. Leviandier, R. Gafrey, 1995. Spatial variability of topsoil characteristics within one silty soil. Effects on clay migration. *Geoderma* 68 :279-300.
- Bertrand R. 1972. Morphopédologie et orientations culturelles des régions soudaniennes du Sine Saloum (Sénégal). 1 carte au 1/100 000. *Agron. Trop.* , 11 : 1113-1190.
- Beyer L., K. Tielbörger, H. P. Blume, U. Pfisterer, K. Pingpank, and D. Podlech, 1998. Geo-Ecological soil features and the vegetation pattern in an arid dune area in the Northern Negev, Israel. *J. of Plant Nutrition and Soil Science*. W533ey-VCH. 4/'98, Vol. 161-N°4. 347-356.
- Brossard M., E. Frossard, 1991. Effets de différents systèmes de cultures sur les stocks organiques des sols argileux tropicaux.
- Burrough P.A., 1983. Multiscale sources of spatial variation in soil. II) A non-Brownian fractal model and its application in soil survey. *J. Soil Sci.* 34 :599-620.
- Feller B. F., 1991. Characterization and dynamic of organic matter in some low activity clay soils and emphasis on West-Africa. *Prosc. Africa Proc. Workshop on "P cycles in terrestrial and aquatic soils"*. H. Tiessen and E. Eds. SCOPE/UNEP Nairobi, Kenya, Marsh 1991.

- Gaze S.R., L.P. Simmonds, J. Brouwer, J. Bouma, 1997. Measurement of surface redistribution of rainfall and modelling its effect on water balance calculations for a millet footslope on sandy soil in Niger. *J. of Hydrol.* Elsevier.188-189, 267-284.
- Jones M.J., 1973. The organic matter content of the savanna soils of West-Africa. *J; Soils Sci.* 24 :42-93.
- Klajj M.C., and G. Vachaud, 1992. Seasonal water balance of a sandy soil in Niger cropped with millet, based on profile moisture measurements. *Agri. Water Manag.* 21:313-330.
- Lal R., 1991. Current research on crop water balance and implications for the future. P33-41, in M.V.K. Sivakumar (ed). *Soil water balance in the Sudano-Sahelian Zone.* (Proc. Int. Workshop; Niamey, Niger, February. IAHS Press. Institute of Hydrology, Wallingford, UK.
- Lepsch J.F., N.A. da Silva, A. Espironelo, 1982. Relacao entre matera organica et textura de solos cultivo del algodao e cana de açucar, no estado de Sao Paulo Bragantina. 41 :231-236.
- Manu A ., S.C. Geiger, A. Berrada, and J.S. Wendt, 1990. Microvariabilité dans le Sahel : un aperçu général. Prog. TROPISOILS. Projet RAAN-INRAN-NIGER. Chimie des sols et fertilisation. Département d'Agronomie, University of Perdue. p:117-128.
- Manu A ., A.A. Pfordresher, S.C. Geiger, L.P. Wilding and L. R. Hossner, 1996. soil parameters related to crop growth variability in western Niger, west Africa. *Soil Sci. Soc. Am. J.* Vol. 60:283-288.
- Modi A.I., J.P. Lacaux, J.G. Baudet, 1995. Chimie des aérosols et des pluies dans la savane semi-aride du Niger pendant la saison humide 1989. *Sécheresse*, vol. 6, N° 4 :331-335.
- Pérez P., 1994. Genèse du ruissellement sur les sols cultivés du sud Saloum (Sénégal). Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques. ENSAM (Ecole Supérieure Agronomique de Montpellier). 34032, Montpellier, France. 252p.
- Piéri C., 1976. L'acidification des terres en cultures exondées au Sénégal. *Agro. Trop.* 32 (4), p :329-351.
- Piéri C., 1989. fertilité des terres de savanes : bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au sud du Sahara . Ministère de la Coopération et du Développement et CIRAD-IRAT. Paris. 444p.
- Sicart S., P. Marini, 1991. Caractérisation de la diversité hydrodynamique d'un sol ferrugineux tropical différencié sur sable dunaire en milieu Soudano-Sahélien. *Soil water balance in the sudano-sahelian zone.* (Proceeding of the Niamey workshop). IAHS, n° 199.pp:209-216.
- Valet S., 1999. L'aménagement traditionnel des versants et le maintien des cultures associées traditionnelles : cas de l'Ouest-Cameroun. Colloque International « *L'homme et l'érosion* ». IRD-CIRAD. BP 5045, Montpellier 30032, France. 12-15/12/1999, Yaoundé, Cameroun, 17p.
- Valet S. et P.S. Sarr, 1999a. Concept du report hydrique superficiel (run-on) : I) Origine à l'échelle de la parcelle en zone soudano-sahélienne. 24ème Journées Scientifiques du GFHN, novembre 1999, Strasbourg. 3 p.
- Valet S. et P.S. Sarr, 1999b. Concept du report hydrique superficiel (run-on) : II) Conséquences physiques, hydriques et agronomiques à l'échelle de la parcelle en zone soudano-sahélienne. 24ème Journées Scientifiques du GFHN, novembre 1999, Strasbourg. 3 p.
- Valet S. et P.S. Sarr, 1999c. Concept du report hydrique superficiel (run-on) : III) Sa gestion et sa valorisation pour un éco-développement durable à l'échelle de la parcelle en zone soudano-sahélienne. 24ème Journées Scientifiques du GFHN, novembre 1999, Strasbourg. 3 p.
- Valet S., 2000. Nouvelle stratégie d'éco-développement durable par la gestion et la valorisation du report hydrique. *Sécheresse* (John Libbey Eurotext, 127, ave. de la République, 92120, Montrouge, France). n°4, vol. 11 :239-247.
- Valet S., Ph. Le Coustumer et P.S. Sarr, 2002. Techniques de contrôle du ruissellement et de gestion du report hydrique pour assurer la séquestration du carbone organique en Afrique. Colloque International:«*Gestion de la biomasse, érosion et séquestration du carbone*». Roose, IRD, BP 4035, 34032, Montpellier, France. 23-18 septembre 2002.12p.
- Zheng F-L, Chi-hua Huang, and D. Norton, 2000. Vertical hydraulic gradient and run-on water and sediment effects on erosion processes and sediment regimes. *Soil Sci. Soc. Am. J.*64 :4-11.

**RESEAU
EROSION**



Référence bibliographique Bulletin du RESEAU EROSION

Pour citer cet article / How to cite this article

Valet, S.; Le Coustumer, P.; Sarr, P. S. - Effet du report hydrique sur la séquestration du carbone en zone soudano-sahélienne, pp. 590-601, Bulletin du RESEAU EROSION n° 23, 2004.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : beep@ird.fr