

# TECHNIQUES ANTIEROSIVES DE CONTROLE DU RUISSELLEMENT ET DE GESTION DU REPORT HYDRIQUE POUR ASSURER LA SEQUESTRATION DU CARBONE EN AFRIQUE

VALET S.<sup>1</sup>, Ph. LE COUSTOMER<sup>2</sup> & P.S. SARR<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Consultant. 9, rue du Bât d'Argent, 69001 Lyon France. <sup>2</sup> CDGA Université de BordeauxI, av. des Facultés, 33405 Talence cedex France. <sup>3</sup> ISRA (Institut Sénégalais de la Recherche Agronomique), BP 53, Bambey, Sénégal.

## Résumé

Des techniques innovantes anti-érosives reposent soit sur le contrôle du ruissellement soit sur la gestion du report hydrique qui se définit comme une «*irrigation naturelle, complémentaire et simultanée à la pluie qui l'a générée en fonction des états évolutifs de surface*». 1) **Techniques de contrôle total ou partiel de la formation du ruissellement (paillage, semis direct, cultures associées, BRF ou Bois Raméaux Fragmentés)**. Dans l'Ouest-Cameroun, en saison des pluies, le paillage a une action négative avec baisse de rendement du maïs de 19% et 7% respectivement sans et avec engrais minéral par suite d'engorgement ; alors qu'en saison sèche il favorise des gains de 150% pour le soja, de 172% pour les haricots et de 44% pour les haricots verts comme en zone soudano-sahélienne grâce à une économie en eau. Les cultures associées (de 7 à 14 espèces selon la fertilité du sol) protègent le sol contre l'agressivité pluviale et empêchent la formation de croûtes génératrices du ruissellement. Elles retournent au sol une très grande quantité de résidus organiques assurant une meilleure résistance structurale des agrégats avec des rendements supérieurs de 20 à 50% à ceux obtenus en monoculture. Au Brésil le semis direct accroît l'accumulation de carbone organique du sol, jusqu'à 0,9 % contre 0,6% en sol nu, maintient l'état structural du sol (densité apparente passe de 1,5 à 1,4). Il réduit le ruissellement de 370 mm à 33 mm entraînant une baisse de pertes en terre de 92 à 0,4 T ha<sup>-1</sup>an<sup>-1</sup> et en matières organiques de 1240 à 0,038 T ha<sup>-1</sup>an<sup>-1</sup> par rapport au sol nu. Au Sénégal, des BRF de filao ont provoqué une augmentation de la production de 400% de la tomate, de 300% de la tomate amère et de 1000% de l'aubergine et en Côte d'Ivoire de 400% du maïs. En Ukraine, l'effet de BRF de feuillus a entraîné une baisse nette d'attaque des champignons des grains de seigle de 78%, 75% et 63 % sur le rendement (de 12, 14 à 17 Qx ha<sup>-1</sup>an<sup>-1</sup> ha) et une augmentation de la teneur du sol en nutriments (P, K, Mn) et en humus de 1,9%, 2,25% à 2,75% respectivement pour *Quercus r.*, *Betula v.* et *Populus tr.*. 2) **Techniques de maintien d'un ruissellement contrôlé non érosif (clôture, fascines, haies vives)**. Dans l'Ouest-Cameroun les clôtures et les haies arbustives perpendiculaires à la pente freinent le ruissellement, stoppent le transfert de sédiments érodés qui se déposent à leur amont modifiant la déclivité. Au Sénégal et au Burundi, leur effet est attesté après 6 mois d'installation et permettent une remontée des nutriments et de la biomasse produite, 102 à 124 kg ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup> de N, 6 à 9 kg ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 17-18 kg ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup> de K. Les fascines jouent un rôle similaire aux haies mais sont rapidement dévorées par les termites. 3) **Techniques de piégeage du ruissellement (½ lune, «*zaï* »)**. Au Niger, les ½ lunes piègent intégralement ruissellement et nutriments. Elles limitent la formation de croûte d'érosion et elles améliorent le développement du mil. Le *zaï* traditionnel induit des augmentations durables de rendement à partir de deux à cinq ans qui peuvent atteindre 287%.

**Mots-Clés** : Barrages filtrants, Bois Raméaux Fragmentés, semis direct, paillage, cultures associées, *zaï*, ruissellement, report hydrique, CO, séquestration, biomasse.

## **ANTIÉROSIF TECHNICS TO CONTROL THE RUN-OFF AND TO MANAGE THE RUN-ON TO ENSURE THE CARBON SEQUESTRATION IN AFRICA.**

The innovating technics to create organic carbon pools and increase biomass are based on the run-off control and the run-on management. Run-off control is realised by mulching, mixed cropping, no tillage system and Ramial Chipped Wood. The maintaining of the run-off without erosive power and of the run-on capacity is possible by fence, quickset hedge, fascine. The half moon and "zai can trap all the run-off and to infiltrate all the run-on". The combination of different technics enhance their effects. This new strategy of soil rehabilitation contribute to the equitable eco-development based on the run-on management and the run-off control according to so pursued agroforestry systems.

Key-words : Quickset hedge, Ramial Chipped Wood, mixed-cropping, run-off, run-on, OC, sequestration, biomass.

### **I) OBJECTIF**

Les problèmes du XXIème siècle dans la zone tropicale, outre l'autosuffisance alimentaire, sont d'ordre écologique. La dégradation principalement d'origine anthropique des écosystèmes concoure à libérer le carbone organique des sols sous forme gazeuse ou par entraînement hydrique et éolien et à réduire celui mobilisé par les plantes, notamment par les forêts, les savanes et les jachères arborées et arbustives qui disparaissent. Le sol joue le rôle de puits organique selon l'importance des cultures plus ou moins épuisantes par leur exigence et leur productivité et de la destruction des forêts. Les processus de libération ou de séquestration sont fortement dépendants des perturbations anthropiques de la surface du sol et de la zone racinaire (Lal et al., 1998 ; Valet et al., 2002). Le protocole de Kyoto recommande la promotion de conditions durables d'agricultures raisonnées. L'agriculture en Afrique est en crise grave par suite de la suppression des subventions et des détaxes des intrants (semences, engrais, biocides, fuel, matériels importés...) due à l'ajustement sectoriel libéral de l'agriculture imposé par la BM et le FMI et la dévaluation du franc CFA en 1994. Ceci conduit à rechercher des techniques anti-érosives rationnelles et innovantes et écologiques et l'emploi de fumure organique pour lutter contre la dégradation des sols pour promouvoir un éco-développement alternatif équitable. Ces techniques écologiques reposant sur le contrôle du ruissellement associé à la gestion et à la valorisation du report hydrique sont maintenant fiables et de plus en plus reconnues (Valet 2000). 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, 1985 ; Valet et al., 2002). L'objectif de cette étude est de vérifier l'efficacité du rôle du report hydrique généré par ces techniques sur l'importance et la rapidité de la séquestration du carbone organique et de ses effets sur la restauration des sols et sur l'augmentation de la biomasse.

### **I) METHODE ET MATERIEL**

Les résultats proviennent d'essais sur le report hydrique des auteurs et d'essais sur le ruissellement de chercheurs cités qui ont travaillé en Afrique et au Brésil.

### **II) RESULTATS**

#### **3.1.) Echec des aménagements anti-érosifs et de l'intensification des monocultures vivrières**

##### **3.1.1- Echec des aménagements anti-érosifs techniques**

En Afrique les techniques physiques de lutte anti-érosive (LA, DRS, CES., PHPO, PDRPO) développées après leurs échecs successifs pour différentes raisons, de coût, de difficulté à

installer, d'inefficacité ou d'effets pervers très nuisibles, de méconnaissance du contexte pédoclimatique complexe sont rejetées par les agriculteurs (Fotsing, 1996 ; Roose, 1996).

### 3.1.2- Echec de l'intensification des monocultures vivrières

L'échec de l'intensification productiviste des monocultures vivrières basée sur l'emploi des engrais minéraux sans restitution de la matière organique et des biocides est patent. Les essais agronomiques ni de 1955 à 1970, période pluviométrique normale, ni de 1971 à 1990, période de sécheresse n'ont fourni des plus values supérieures aux 1000 kg ha<sup>-1</sup> nécessaires pour rembourser le travail et les intrants et ce avant la dévaluation de 50% du franc CFA en 1994 (Valet, 2000). La meilleure plus value de 700 kg ha<sup>-1</sup>, au quartile faible, a été obtenue dans un essai de fertilisation conduit pendant 18 ans, reposant sur 40 T ha<sup>-1</sup> de fumier apportés tous les deux ans (Pichot et al., 1981). Mais trois constatations peuvent être faites : 1) le témoin retenu, labour sans engrais ni fumier, est fictif et totalement étranger aux pratiques paysannes, 2) enfouir 40 T ha<sup>-1</sup> est irréaliste car la production de pailles varie de 0,5 à 5 T ha<sup>-1</sup> et 3) le rôle négatif du labour a été occulté. En effet, des chercheurs (CIRAD et al., 1992) ont démontré que 18 ans de labour ont gravement déstructuré le sol contrairement au grattage traditionnel qui a maintenu des rendements corrects. Cet échec est renforcé par la suppression des subventions et des détaxes des intrants (semences, engrais, biocides, fuel, matériels importés...) due à l'ajustement sectoriel libéral de l'agriculture et à la dévaluation de 50% du franc CFA en 1994 imposés par la BM et le FMI (Seck, 1997). La recherche agricole en Afrique traverse donc une crise grave.

### 3.2) Constat de quelques comportements superficiels paradoxaux

En zone soudano-sahélienne, dans les champs, pour des pentes variées (de 0,5 à 9%), les études montrent des relations complexes et paradoxales entre le ruissellement, l'érosion et le rendement mesurés.

#### 3.2.1- Les billons et le report hydrique

A Kassela (Mali) si le rendement du mil est normalement et positivement corrélé à la taille résiduelle des billons perpendiculaires à la pente mesurée à la récolte, il l'est négativement sur les billons parallèlement à la pente (Fig. 1). Pour la même taille des billons il est

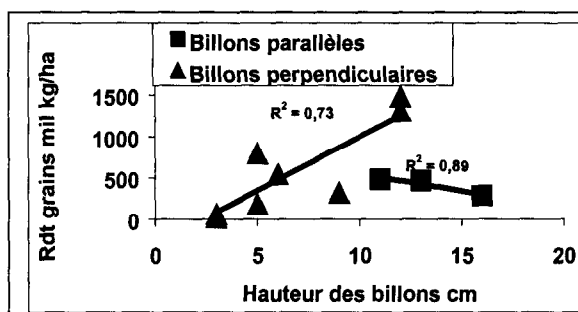
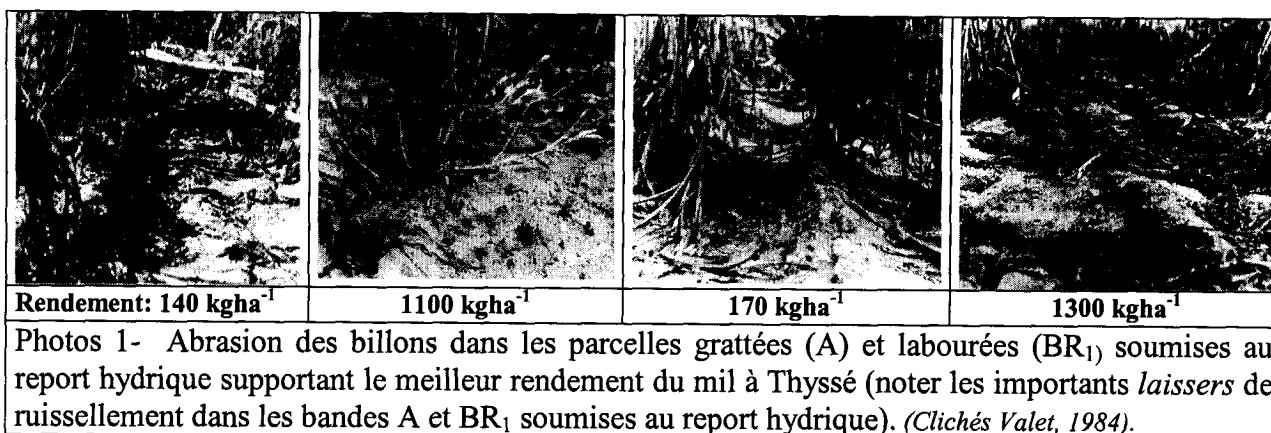


Figure 1- Relation entre la hauteur résiduelle des billons perpendiculaires et parallèles à la récolte et le rendement-grain du mil à Kassela (Mali).

significativement inférieur sur les billons parallèles apparemment moins érodés. Ceci résulte du surcreusement des sillons parallèles par le ruissellement et du piégeage d'une part du ruissellement dans les sillons perpendiculaires. Les billons les plus abrasés sont situés en haut de versant où les sols moins épais stockent le moins d'eau et fournissent le plus fort report hydrique vers l'aval. A Thyssé (Sénégal) pour des billons perpendiculaires à la pente réalisés après labour et grattage le rendement du mil est négativement corrélé à la taille résiduelle des billons (Photos 1- D, A, C, B-R<sub>1</sub>). Ceci résulte de l'effet abrasif du ruissellement dont une partie constitue le report hydrique (Valet et al., 1999). Ces rendements paradoxalement les meilleurs sont dus en plus à l'apport de carbone organique et de nutriments là où s'infiltrer ce report hydrique (Valet et al., 2002).



Rendement: 140 kg $ha^{-1}$

1100 kg $ha^{-1}$

170 kg $ha^{-1}$

1300 kg $ha^{-1}$

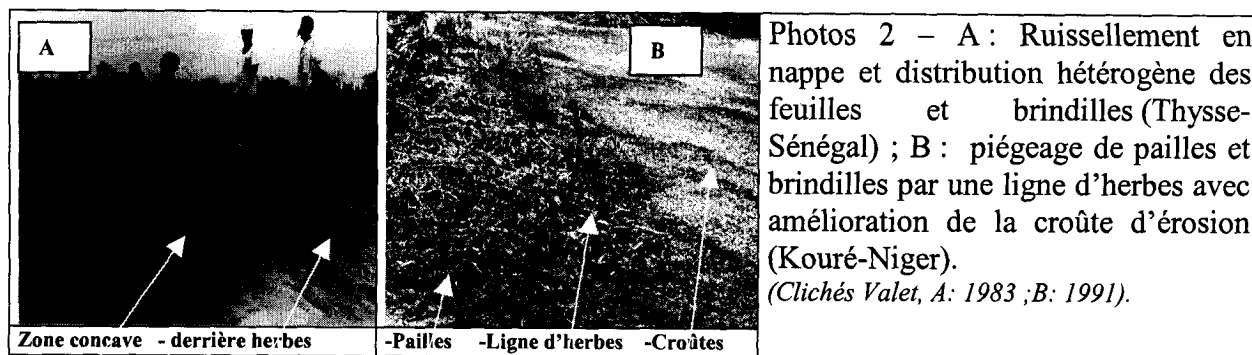
Photos 1- Abrasion des billons dans les parcelles grattées (A) et labourées (BR<sub>1</sub>) soumises au report hydrique supportant le meilleur rendement du mil à Thyssé (noter les importants *laissers* de ruissellement dans les bandes A et BR<sub>1</sub> soumises au report hydrique). (Clichés Valet, 1984).

Tableau 1- Effet de croûtes sur la répartition spatiale du carbone organique, des nutriments, du pH et de l'instabilité structurale après 2 ans de maïs intensifié sur un sol ferrallitique rouge sur basalte ancien (Koumelap- Ouest-Cameroun) (Valet, 1999).

Etat de la surface du sol	Argiles %	Somme cations éch.	pH	C %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ass. % <sub>0</sub>	Is (Hénin)
Témoin grumeleux	26.1	4.16	5.5	10.0	0.43	0.05
Croûte de ruissellement	24.8	0.35	5.0	5.0	0.15	0.35
Croûte de ruissellement	29.2	0.61	4.8	1.0	0.16	0.14
Croûte de décantation	50.0	2.18	5.7	2.7	0.10	1.00

### 3.2.2- La nature soigne ses croûtes

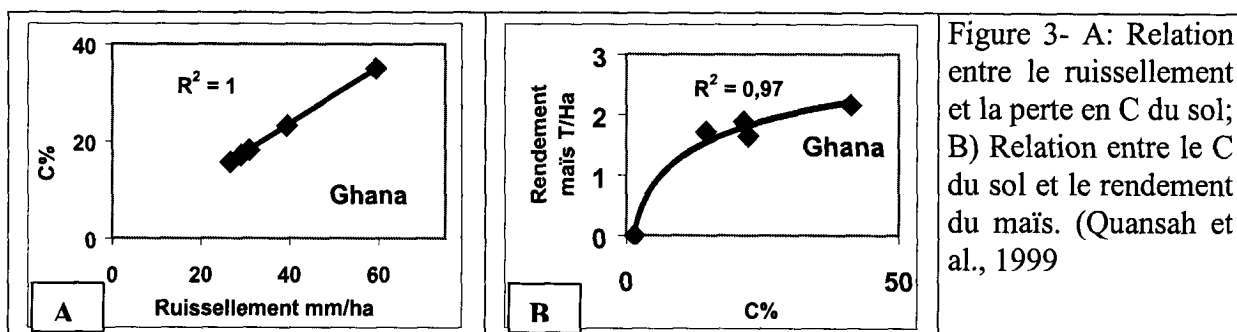
Le transfert hydrique hétérogène est lié à la formation de croûtes superficielles de nature et de fonction spécifiques qui modifient la perméabilité intrinsèque du sol et régissent le ruissellement et le report hydrique. Le rôle des agrégats dans la protection du carbone du sol est nul car la formation de croûtes est rapide et les différents types de croûtes conduisent à une grande variabilité spatiale de la séquestration de la matière organique, des cations échangeables et du phosphore (Valet et al., 2002). Ceci se vérifie dans l'Ouest-Cameroun, sur un sol ferrallitique rouge sur basalte ancien, sur une culture de maïs où le ruissellement crée sur un espace réduit une série de croûtes de comportement hydrique différent. Elles se caractérisent, outre par leur structure, par une séquestration particulière avec des teneurs plus faibles ou plus fortes que le témoin grumeleux (Tableau 1). L'observation de l'état de surface sur un versant ou dans un champ montre que les croûtes naturelles ou d'origine anthropique pouvaient être modifiées par des transformations imperceptibles du milieu ne nécessitant aucune intervention technique importante ni coûteuse. Le moindre changement subtil du micromodèle, de convexe à concave, ou de la pente transforme le ruissellement en report hydrique comme Valet et al. (2002) l'ont démontré au Sénégal. La plus petite rangée d'herbes modifie l'encroûtement en assurant une protection du sol par des résidus de pailles et brindilles qu'elle piège (Photo 2A & B). La chute importante des rendements liée à l'effondrement de la teneur en carbone du sol ne peut donc pas être corrigée par les seuls apports massifs d'engrais minéraux. Aussi, pourquoi faire compliqué et onéreux quand il est possible de faire simple à moindre coût en s'inspirant des techniques biologiques naturelles ou traditionnelles pour améliorer le statut organique du sol en le protégeant efficacement de l'érosion ?



### 3.3) Techniques de contrôle total ou partiel de la formation du ruissellement

#### 3.3.1- Paillage

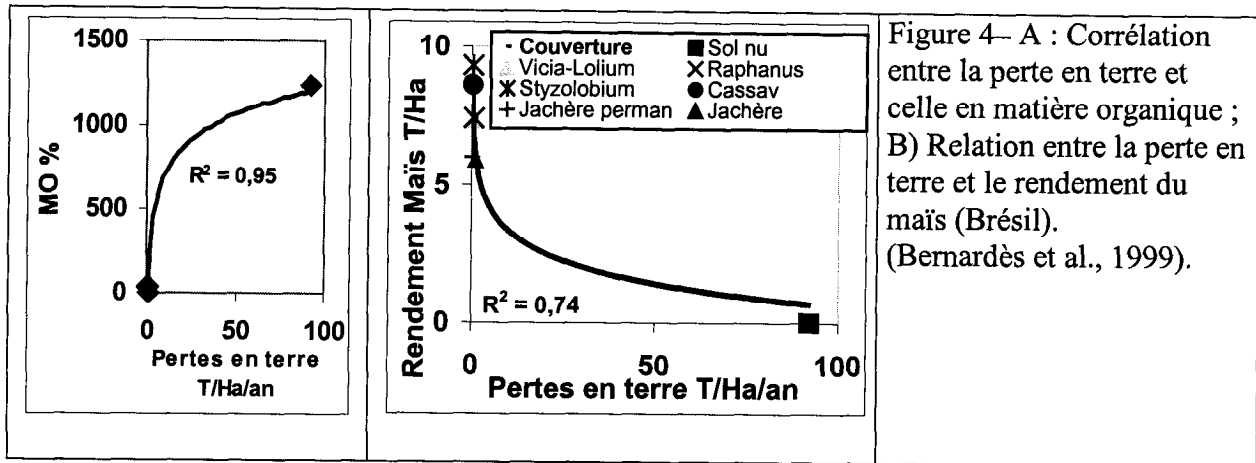
Le paillage est reconnu pour son amélioration du « turnover » nutritif et de nombreux effets écologiques (baisse du risque d'érosion, limitation de l'évaporation, abaissement de la température du sol, renforcement de la résistance structurale des agrégats quelle qu'en soit sa nature, graminées, légumineuses grimpantes et arbustives feuilles de bananier. Si en zone soudano-sahélienne cet effet est constant tout au long de l'année, en zone tropicale il n'est positif qu'en saison sèche avec des gains de 150% pour le soja, de 172% pour les haricots et de 44% pour les haricots verts (Valet, 1999). Dans l'Ouest-Cameroun, en saison des pluies, on enregistre une baisse de rendement du maïs de 19% et 7% respectivement sans et avec engrais minéral. Ceci est en partie dû à son rôle thermique et hydrique ; en effet, il abaisse la température du sol à 12 heures de 8°C en surface et de 6°C à 20 cm de profondeur et augmente son humidité de 15mm, 7mm et 3mm respectivement à 2 cm, 10 cm et 20 cm de profondeur bloquant ainsi la minéralisation de l'azote. L'impossibilité de protéger toute l'année le sol par un paillis conforte la nécessité du maintien des cultures associées traditionnelles. Au Ghana, le gain en carbone organique du sol est fortement dépendant de l'épaisseur du paillage, de 2 à 6 T ha<sup>-1</sup>, de *Guinea grass* (Quansah et al., 1999). La perte en carbone est proportionnelle au ruissellement (Fig.3A) et le rendement du maïs est fortement corrélé au taux de carbone organique disponible (Fig.3B).



#### 3.3.2- Semis direct

Le semis direct est une technique de conservation du sol et de l'eau et de contrôle de l'érosion dont la caractéristique principale est le non retournement du sol et sa protection par les résidus de la culture antérieure (Blancaneaux et al., 1996). Au Brésil, le semis direct, sur un sol ferrallitique rouge, sur maïs maintient l'état structural du sol, favorise l'activité biologique, accroît l'accumulation de carbone organique, baisse l'utilisation d'agrototoxiques et améliore la perméabilité (Bernardès et al., 1999). De plus, la couverture en diminuant le ruissellement et la perte en terre limite la perte de la matière organique du sol bien plus efficacement que la jachère (Fig. 4A). Cet effet est lié à la plante de couverture utilisée, le *styzolobium* puis la cassave, le *raphanus* et le *vicia* favorisent les meilleurs rendements de 7,3 à 9,3 T ha<sup>-1</sup>

supérieurs à ceux de la jachère de 5,9 T ha<sup>-1</sup> (Fig. 4B) (Bernardès et al., 1999). Un tel système agraire alternatif pourrait être largement diffusé dans les zones tropicales africaines et tempérées européennes. Dans les régions de montagnes (l'Ouest-Cameroun, Burundi, Rwanda...) ce système pourrait être mécanisé ou manuel selon les pentes et la densité de population (Valet, 1999).



### 3.3.3- Cultures associées

L'étude des associations culturales vivrières traditionnelles de l'Ouest-Cameroun a infirmé la croyance des agronomes du CIRAD dans un apparent chaos de ces associations (Valet, 1999). En effet, les agriculteurs font varier qualitativement (choix des espèces et variétés) et quantitativement (IOS, nombre d'espèces et de variétés) les associations culturales. La très grande variabilité des IOS médians (Indice d'Occupation du Sol) de 1,04 à 2,9 (hors les arbres et arbustes) correspondant à un large éventail d'espèces (7 à 14) comme celle des LER (Land Equivalent Ratio) de 1 à 2 est dépendante de la fertilité des sols et surtout du risque de sécheresse climatique et édaphique (Figures 5 et 6). Les agriculteurs limitent les IOS à 2 en région Bamoun à climat plus aride qu'en région Bamiléké et à 1,5 dans ces deux régions sur les sols pentus, minces et peu profonds. Cette couverture végétale, au contraire de la

monoculture qui a toujours été à l'origine de la dégradation accélérée du milieu, assure une meilleure protection du sol contre le ruissellement érosif et une exploitation complémentaire des ressources en nutriments et en eau. De plus par une productivité supérieure de biomasse, ce système provoque une séquestration du carbone plus efficace que celle des monocultures et

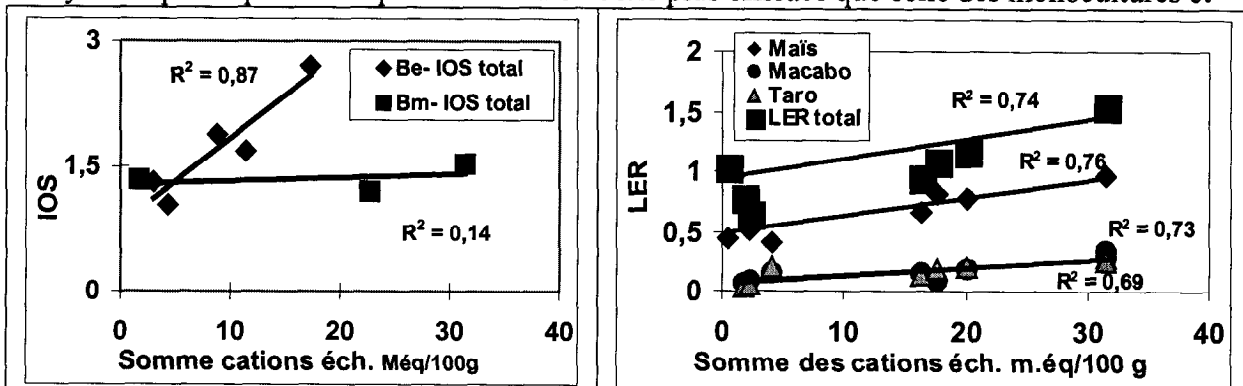


Figure 5- Relation entre l'IOS des cultures vivrières et du café et la fertilité actuelle des sols en régions Bamiléké (Be) et Bamoun (Bm) en 1967.

Figure 6- Relation entre les LER des trois principales cultures (sur 7 à 13 cultures) et la fertilité actuelle des sols en régions Bamiléké (Be) et Bamoun (Bm) en 1967.

constitue un puits significativement supérieur. "Dans de telles conditions, on doit se

demander par quels arguments convaincants les vulgarisateurs pourraient amener les cultivateurs aux pratiques de la monoculture” et pour quelles raisons les agronomes s’entêtent à la promouvoir. Elle démontre irrémédiablement que le concept d’écointensification des cultures associées constitue un système innovant et raisonné pour un éco-développement équitable alternatif (Valet, 2000).

### 3.3.4- Bois raméaux fragmentés (BRF)

C’est une technique originale mise au point par les forestiers canadiens basée sur l’utilisation des rameaux (branches, brindilles et feuilles) de diamètre inférieur à 7 cm fragmentés considérés normalement comme des déchets non exploités (Lemieux, 1994). Ils représentent une source d’énergie à lente dégradation de la lignine. Ils sont riches en nutriments, sucres, protéines, cellulose et lignines qui jouent un rôle spécifique dans l’aggradation des sols productifs après biotransformation et non décomposition. Cette aggradation à long terme du sol entraîne une accumulation de matière organique que l’on n’observe pas avec le fumier, le

	Cuvettes des paysans	Dabo			Sarr	
	Antécédent	Après longue jachère			Sans jachère	
	Traitements	Sigles	Fruits	Biomasse*	Fruits	Biomasse*
	BRF en 1992 et 1994	AT	11,6	11,7	10,6	8,8
BRF en hivernage 1994	TH	13,6	15,9	10,8	10,6	
Nouveaux tests	NT	8,9	10,9	9,2	8,4	
Témoin	T	4,6	5,5	1,7	2,9	
Culture traditionnelle	Tc	8,9	15,3	4,6	3,5	

\* Parties hypogées et épigées moins les fruits. 150 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de rameaux enfouis sur 10 cm.

compost, les sciures, les copeaux et les engrais verts immédiatement détruits et utilisés par les plantes. Des résultats positifs ont été obtenus en Europe, en Afrique et en Amérique latine qui perdurent 3 à 5 ans. Dans les Niayes (Sénégal) des BRF de filao (*casuarina equisetifolia*) ont provoqué une augmentation significative de la production : de 400% pour la tomate, de 300% pour la tomate amère (*solanum aethiopicum*), de 1000% pour l’aubergine avec baisse des attaques de nématodes et contrôle des pucerons et des sclérotés et en Côte d’Ivoire de 400% du maïs (Furlan et Lemieux, 1996)(Tableau 2). A Kiev (Ukraine), on a enregistré une augmentation du carbone organique, des nutriments et de la perméabilité des sols et corrélativement une augmentation de rendement du seigle, de la pomme de terre, de l’avoine et des fraisiers en plein champ et en serre liée également à une baisse de germination des adventices. Cela entraîne une réduction des doses d’herbicides. De plus l’effet de BRF de feuillus est net sur la protection des grains de seigle contre les champignons, les insectes (Chervonyl, 1999) (Tableau 3).

Tableau 3– Effet des BRF sur les dommages causés aux grains de seigle (*secale cereale*) à la récolte, sur le rendement de la biomasse (grains+pailles+racines) et sur la teneur du sol en humus (%) et en nutriments (N,P,K assimilables et Mn échangeable) à Kiev (Ukraine). (Chervonyl, 1999).

Espèces de BRF	Attaque <i>fungus</i> %*	Protéine M.g	Grain	Paille	Racines Ms %	Sol				
			Rdt qx/ha				Humus	N	P	K
Contrôle	78	10,2	12	27,8	91,4	1,91	72	102	80	103
<i>Quercus r.</i>	75	11,4	17,2	80,8	93,4	2,25	64	116	108	81
<i>Betula v.</i>	63	10,8	14,9	30,4	92,6	2,75	73	106	85	117
<i>Populus t.</i>	63	11	15,8	31	91,8	2,76	63	104	89	111
<i>Salix a.</i>	88	10,8	14,5	30,6	92,2	2,92	73	104	74	106

\* Variétés : Fusarium sp., a. et g.; Altermana a. ; Mycelia st. ; Nigrospora o. ; Macor h. et Acromoniella a.

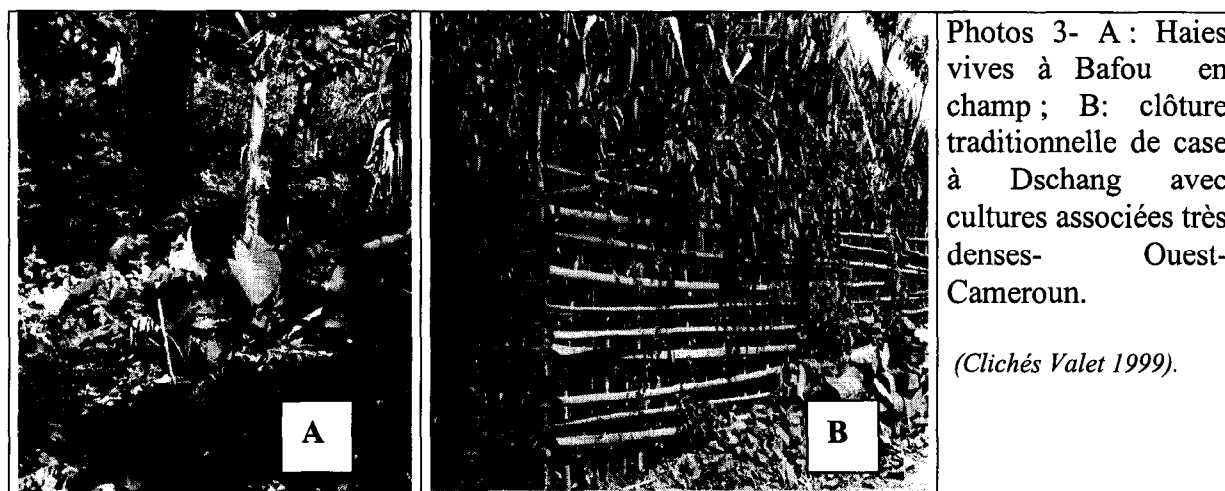
Cette augmentation importante de la teneur de matière organique limite le lessivage des nutriments et des biocides réduisant la pollution. Cette technique qui implique à la fois les

secteurs forestiers et agricoles milite pour l'agro-foresterie qui seule peut fournir un carbone stable (Lemieux et al., 1999).

### 3.4) Techniques de maintien d'un ruissellement contrôlé non érosif

#### 3.4.1) Bocage filtrant traditionnel : clôtures, haies vives

En zone tropicale, les aménagements traditionnels complexes, principalement des clôtures et des fortes haies arbustives et même des rangées d'arbres perpendiculaires à la pente, constituent un véritable bocage structurant l'espace agraire (Photos 3A & B). Perpendiculaires à la pente ces haies freinent le ruissellement, stoppent le transfert de sédiments érodés qui se déposent à l'amont des clôtures modifiant la déclivité à long terme (dénivelées de 1 m). Après



Photos 3- A : Haies vives à Bafou en champ ; B: clôture traditionnelle de case à Dschang avec cultures associées très denses- Ouest-Cameroun.

(Clichés Valet 1999).

6 mois seulement ces haies filtrent et retiennent 95% de la charge solide mais maintiennent le ruissellement et donc le report hydrique alors qu'au Burundi, elles diminuent également le ruissellement (Duchauffour et al., 1996). Ce bocage à couverture du sol dense doit maintenir le ruissellement en lui ôtant sa compétence érosive afin de limiter l'infiltration qui entraîne la formation de lavackas avec des risques de foirage. De plus, ces haies permettent une amélioration de la fertilité et du rendement, notamment par remontée des nutriments et par la biomasse produite, 102 à 124 kg ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup> de N, 6 à 9 kg ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 18 kg ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup> de K (Köning, 1992 ; Ndayzigiye, 1993). Cependant, elles peuvent être concurrentielles pour l'eau et la lumière (Bizimana et Duchauffour, 1995 ; Duchaufour et al., 1996). Dans l'Ouest-Cameroun, le bocage sur les versants est donc à associer selon la pente : 1) aux cultures associées traditionnelles pour les zones densément peuplées et les pentes supérieures à 6% voire 12% (plantation avec une canne manuelle) ; 2) au semis direct mécanique dans une plante

Tableau 4- Effet du report hydrique géré ou non par une haie sur le rendement grain médian du mil (kg ha<sup>-1</sup>) à Thyssé (Sénégal).

Pluviosité		Excédentaire	Normale		Déficitaire	
<b>Effet haie :</b>	Amont	800	1150	900	Grattage	Labour
	Aval	1120	850	600	Aval	Aval
<b>Effet naturel</b>	Avec ruissellement				300	-
	Sans ruissellement				750	1150
	Témoin				145	155

de couverture pour les zones peu peuplées et celles à faibles pentes inférieure à 6% voire 12% (Valet, 1999). En zone soudano-sahélienne, à Thyssé (Sénégal), le report hydrique améliore la satisfaction hydrique du mil et augmente son rendement différemment selon la pluviosité (Tableau 4). L'effet est négatif les années à pluviosité excédentaire qui apparaissent seulement à la probabilité de 2 années sur dix mais à des niveaux de rendements identiques à ceux des



années normales donc largement supérieurs à ceux des années déficitaires. La double haie mixte réduit le ruissellement de 25 à 90% et la perte en terre de 45 à 97% plus efficacement sous manioc, mais elle n'assure pas un rendement significativement supérieur la première année (Fig. 7). Elle atténue de 30% la pente initialement de 28% (Duchaufour et al., 1996). De plus, elle procure du bois de chauffe et du fourrage.

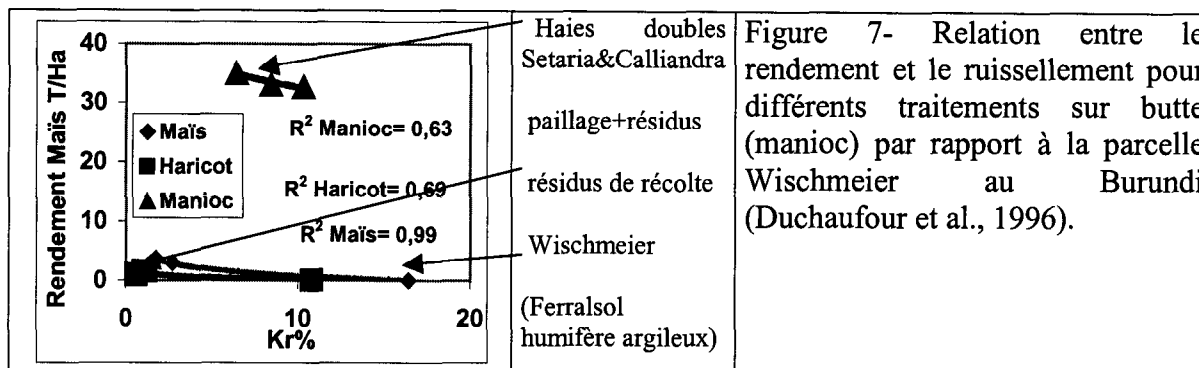


Figure 7- Relation entre le rendement et le ruissellement pour différents traitements sur butte (manioc) par rapport à la parcelle Wischmeier au Burundi (Duchaufour et al., 1996).

### 3.4.2- Fascines

Les fascines en tête de rigole freinent le ruissellement en provoquant le dépôt des sédiments (Photo 4). Celui-ci protège le sol contre l'effet de la pluie et du ruissellement, limite la formation de croûtes, améliore la structure. Il assure la séquestration du carbone organique et des nutriments. Mais elles sont très rapidement dévorées par les termites. Il serait intéressant de lui substituer des rangées d'euphorbes entre lesquelles entrelacer les branches.

#### Bassin versant de Thyssé (Sénégal).

- Limite du bassin versant très encroûté
- Développement végétal important sur le dépôt enrichi en nutriments en amont.
- Branches tressées entre les pieux

(Cliché Valet, 1985).

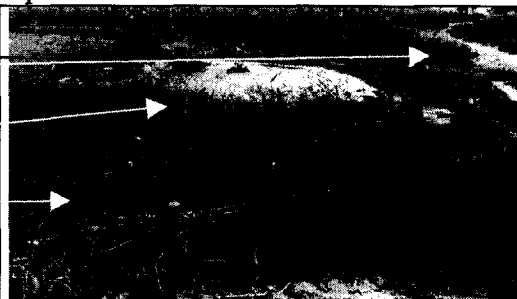


Photo 4- Fascine double en tête de ravine avec dépôt de terre en amont et repousse d'herbes.

### 3.5) Techniques de piégeage intégral du ruissellement

#### 3.5.1- « zaï »

Tableau 5- Effet comparé des demi-lunes et du zaï traditionnel et amélioré sur l'enrichissement du sol ferrugineux tropical en nutriments et carbone et sur le rendement du mil ( $qxha^{-1}$ ) (Zoumgmore et al., 1999).

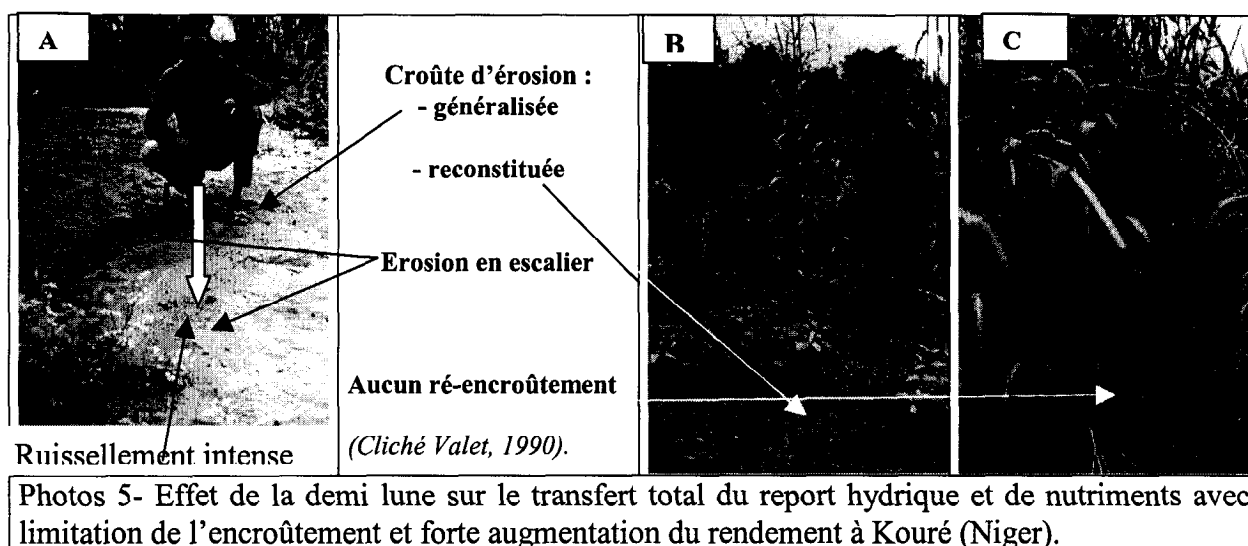
Traitements	Sol			Grains		Paille	
	pH	C g/kg	Ca <sup>++</sup> Cmol/Kg	1998	1999	1998	1999
To	5,1	6,4	1,44	0	0	0	0
Zaï- traditionnel	5,3	9,2	2,23	3,75	2,06	21,3	0,73
Zaï- pailles	5	7,5	1,73	4,38	1,8	24	7,4
Zaï- pailles+BP	5,7	9,9	2,54	7,08	6,94	39,1	16,2
1/2 lune	4,6	5,5	1,54	0,41	0,42	1,14	1,77
1/2 lune+paille	4,7	5,3	1,47	0,83	1,46	3,02	5,10
1/2 lune+Compost+BP*	4,6	5,3	2	9,3	11	27,3	25
1/2 lune+Fumier	5,4	8,3	2,48	16,14	11,04	42,91	25,42

\*BP: phosphate nature du Burkina. Zaï :  $9,5 \text{ Tha}^{-1}$  de fumier (bœuf) ; 1/2 L :  $14,6 \text{ Tha}^{-1}$  de fumier et de compost.

Au Burkina le *zai* est une technique traditionnelle de conservation de l'eau et du sol utilisée pour récupérer les *zipede* (terrains dénudés, compacts et décapés et infertiles). Le *zai* est constitué de trous circulaires ou carrés disposés en quinconce, de 0,3 m de diamètre tous les 0,7 à 1,2 m et profonds de 0,08 à 0,20 m. La terre excavée est rejetée en aval pour bloquer le ruissellement. Une poignée de brindilles et de paille est jetée dans chaque trou pour attirer les termites qui créent dans le sol une porosité inexistante ce qui favorise l'infiltration des pluies et du ruissellement (Somé et al., 2000). Cette technique permet d'obtenir sur un sol ferrugineux tropical infertile une production de sorgho (IRAT 204 de 90 jours) (Zoungmore et al., 1999). Les augmentations induites de rendement sont durables à partir de deux à cinq ans. L'ajout de pailles au *zai* améliore ses performances de 28 à 60% selon les années (Tableau 5).

### 3.5.2- Demi-lune

Elle piège intégralement le report hydrique, retarde et réduit la re-formation de croûtes d'érosion. Cela améliore la production de biomasse comme on l'observe au Niger sur un sol sableux (Photos 5a, b et c). A l'amélioration hydrique s'ajoute l'augmentation des nutriments transportés. Sur le même sol du Burkina les rendements des  $\frac{1}{2}$  lunes ne dépassent ceux des « *zai* » qu'avec des apports conséquents de matières organiques, compost et surtout de fumier (Tableau 5). Le reboisement de la brousse tigrée proposé par le CTFT et financé coûteusement par la BM dès 1990 a été un échec total à conséquence catastrophique

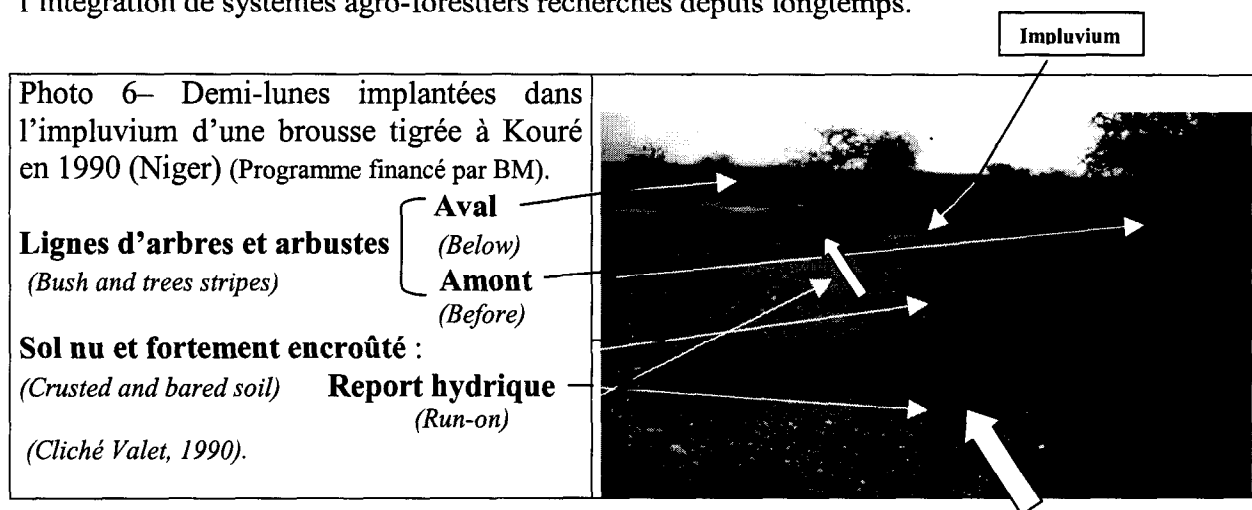


(Valet, 2000). Ce reboisement n'a eu qu'un très faible taux de reprise dans les demi-lune implantées dans les bandes nues et fortement encroûtées (croûtes d'érosion et gravillonnaires) et il a provoqué le dessèchement et la mort en trois ans des bandes boisées. Ceci est dû à la méconnaissance du fonctionnement hydrique de ce système bien particulier. En effet, les intermédiaires ou impluvium, a été dans sa totalité capté par les demi lunes (Photo 6). Les bandes boisées ont été privées de cet apport supplémentaire qui maintenait une telle végétation en déséquilibre climacique.

## III) CONCLUSION

Les résultats des techniques anti-érosives traditionnelles et récentes innovantes de contrôle total ou partiel du ruissellement et de gestion du report hydrique montrent qu'elles favorisent la séquestration du carbone et améliorent la production de la biomasse en Afrique. Elles pourraient inverser le continuel déclin de la matière organique et de la fertilité des sols. Cette séquestration du carbone organique par le sol et par les plantes offre des possibilités

intéressantes d'atténuer partiellement mais significativement et surtout immédiatement l'augmentation de la concentration atmosphérique de carbone gazeux qui contribue à l'effet de serre et au réchauffement global de la planète. Si cette pratique constitue des pools organiques de courte durée, elle doit être associée à l'agro-foresterie ou à l'élevage pour assurer une certaine durabilité. Même en dehors des zones tropicales, les vastes espaces peuvent compenser la faiblesse des capacités de stockage. Elles fournissent des avantages complémentaires, conserver la biodiversité, reconstituer les sols et les paysages et limiter l'emploi de biocides. Elles sont écologiquement fiables, économiquement viables, «agronomiquement raisonnées» et techniquement reproductibles. La combinaison de différentes techniques en renforce l'efficacité. Cette nouvelle stratégie de lutte contre la dégradation des sols permettra un éco-développement alternatif et équitable reposant sur l'intégration de systèmes agro-forestiers recherchés depuis longtemps.



## V) BIBLIOGRAPHIE

Bernardès M., P. De Pury, F. Eltz, J-C. Vedy 1999. Bilan comparé de pratiques culturales (Maïs, engrais vert sur semis direct) dans la lutte contre l'érosion hydrique au Brésil. Bull. EROSION N°19, IRD BP 5045, 34032 Montpellier Cedex1 France. Pp353-363.

Bizimana et Duchaufour, 1995. Projet de recherche pour la protection de l'Environnement. Institut des Sciences Agronomiques du Burundi. BP 795. Bujumbura, Burundi p166-168.

Blancanaux Ph., De Freitas P.L., Amabile R-F et De Carvalho A., 1993. Le semis direct comme pratique de conservation des sols des terres des Cerrados du Brésil Central. Cahier ORSTOM, Pédologie vol. XXVIII, n°2. p253-275.

Chervonyl A. Y., 1999. Rapport d'étape sur la technologie des BRF, utilisant le seigle comme référence pour les années 1997-98. N°107. Université de Laval. Département des Sciences des Bois et de la Forêt. Québec GIK 7P4 Québec, Canada. 61 p.

Duchaufour H., Ph. Guizol, M. Bizimana, 1996. Avantage et inconvénients comparatifs de la haie mixte Calliandra/Setaria et du paillage comme dispositif antierosif en milieu rural burundais. Bull. EROSION N°16, IRD BP 5045, 34032 Montpellier Cedex1 France. Pp132-151.

Fotsing J-M., 1996. L'érosion des terres cultivées et propositions de gestion conservatoire des sols en pays Bamiléké. Cahier ORSTOM, Pédologie. Vol. XXVIII, N°2. BP 5045, 34032 Montpellier, France. pp:352-366.

Furlan et Lemieux, 1996. Méthode d'application et d'évaluation pour l'utilisation des bois raméaux fragmentés. N° 67. Groupe de coordination sur les BRF. Université de Laval. Département des Sciences des Bois et de la Forêt. Québec GIK 7P4 Québec, Canada. 8p.

- Köning, D., 1992. The potential of Agroforestry methods for erosion control in Rwanda. *Soil Technology*5, p130-139.
- 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.
- Lal et Kimble et Cole, 1998. The potential of US cropland to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. Chelsea MI. Ann. Arbor Press.
- Lemieux G., 1990. Le bois raméal et la pédogénèse : une influence agricole et forestière directe. N° 15. Groupe de coordination sur les BRF. Université de Laval. Département des Sciences des Bois et de la Forêt. Québec GIK 7P4 Québec, Canada. 35p .
- Lemieux G., 1994. Rapport de mission africaine au Sénégal- 2 au 13 décembre 1994. N° 5. Groupe de coordination sur les BRF. Université de Laval. Département des Sciences des Bois et de la Forêt. Québec GIK 7P4 Québec, Canada. 20p.
- Lemieux G., L. Lachance, T. Stevanovic-Janezic, 1999. La structure des sols et le bilan du carbone : une fonction de l'effet de serre. Groupe de coordination sur les BRF. Université de Laval. Département des Sciences des Bois et de la Forêt. Québec GIK 7P4 Québec, Canada. 8p.
- Ndayizigiye F., 1993. Effets des haies arbustives (*Calliandra* et *leucena*) sur l'érosion, le ruissellement et les rendements (Rwanda) *Bull. Erosion*, N°13, BP 5045, 34032 Montpellier, France. 41-51.
- Quansah et E.O. Ampontuha, 1999. Soil fertility erosion different soil and residue management systems : A case study in the semi-deciduous forest zone of Ghana. Réseau Erosion, *Bull.* N°19, IRD BP 5045, 34032 Montpellier Cedex1 France. Pp111-121.
- Roose E., 1994. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Bulletin Pédologie de la FAO* N° 70, 420p.
- Roose E., 1996. Innovations dans la conservation et la restauration des sols. *Cahier ORSTOM, Pédologie*. Vol. XXVIII, N°2. BP 5045, 34032 Montpellier, France. pp:147-155.
- Seck T.M., 1997. *La Banque Mondiale et l'Afrique de l'Ouest- Exemple du Sénégal*. Publisud. 15, rue des Cinq Diamants, Paris, 75013. 220p.
- Somé L., K. Kambou, S. Traore, 2000. Techniques de conservation des eaux et des sols dans la moitié nord du Burkina Faso. *SECHERESSE*, Vol. 11, N° 4, déc. 2000. AUPELF-UREF, John Libbey Eurotext, 127, av. de la République, 92120, Montrouge, France. Eurotext, 127.
- 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'Erosion* ». IRD-CIRAD. BP 5045, Montpellier 30032, France. 12-15/12/1999, Yaoundé, Cameroun, 17p.
- 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. Effet du report hydrique sur la séquestration du carbone organique. Colloque International:«*Gestion de la biomasse, érosion, séquestration du carbone*». E. Roose, IRD, BP 5045, 34032, Montpellier, France. 23-18 septembre 2002.12p.
- Zougmore R., Z. Zida, F.N. Kambou, 1999. Réhabilitation des sols dégradés : rôle des amendements dans le succès des techniques de demi-lune et de « zaï » au Sahel. *Bull. EROSION* N°19, IRD BP 5045, 34032 Montpellier Cedex1 France. Pp:536-550.

**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. - Techniques antiérosives de contrôle du ruissellement et de gestion du report hydrique pour assurer la séquestration du carbone en Afrique, pp. 602-613, Bulletin du RESEAU EROSION n° 23, 2004.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : [beep@ird.fr](mailto:beep@ird.fr)