

CN0101634

D100

DIA

Importance de la haie vive isohypse sur la gestion de l'eau du sol et le rendement des cultures dans un bassin versant de Thyssé-Kaymor, Sénégal

En utilisant un réseau de 12 haies vives isohypses, associant espèces indigènes et exotiques, cet article montre qu'il est possible de réduire le ruissellement et d'augmenter l'infiltration sans trop perturber les cultures sur un bassin versant du terroir de Keur Dianko. Il ouvre la voie à une réintroduction progressive de l'arbre dans les paysages agricoles des terroirs villageois de la zone soudanienne dans le bassin arachidier du Sénégal.

Malainy DIATTA
Elhadji FAYE

ISRA/CRA,
BP 53,
Bambey, Sénégal,
<Elhaj.Faye@ird.sn>

Michel GROUZIS

IRD, BP 434, route d'Ambohipo,
Antananarivo 101, Madagascar.

P. PEREZ

CIRAD, BP 5035,
34032 Montpellier Cedex 1, France.

Les effets cumulés de la sécheresse au cours de ces trois dernières décennies, des feux de brousse, de la surexploitation des terres et de l'extension des zones de cultures oux formations peu anthropisées des savanes se sont traduits par la diminution du couvert végétal ligneux. Fontanel [1] rapporte que la surface occupée par la végétation spontanée dans la région de Thyssé-Kaymor (*figure 1*) est passée de 62 à 34 % entre 1970 et 1983. Les défrichements représentent environ 30 à 45 % de la surface totale du territoire en 10 ans. Les forêts claires et savanes boisées au sens de Trochan [2], qui représentaient 15 % du secteur en 1972, n'en constituent plus que 10 % actuellement. Cette dégradation du couvert végétal est accompagnée d'un ruissellement intense entraînant une érosion [3].

La conséquence immédiate est une diminution de la disponibilité en eau et de la productivité végétale, notamment des cultures annuelles suite à la baisse de fertilité physico-chimique des sols.

Dans ce contexte, la recherche dans le domaine agricole doit s'efforcer de lever ces contraintes. Plusieurs essais ont été tentés pour améliorer et maintenir la fertilité de ces sols appauvris, notamment par le biais de l'agroforesterie. Banda et al. [4] ont étudié les effets des haies de *Leucaena leucocephala* sur les pertes en terre et sur les rendements du maïs. La même espèce a été étudiée par Mureithi et al. [5] sur ses rapports avec la productivité du maïs et avec les propriétés chimiques du sol. La haie vive agit-elle sur les cultures ? En effet, il se pose des problèmes de concurrence que certains auteurs ont essayé d'apprécier

Références

1. Fontanel P. État des végétations de par-cours dans la communauté rurale de Kaymor (Sud Sénégal, Saloum) Effets de la pression anthropique dans les différents milieux et ca-pacité de récupération. Montpellier : Cirad-Irat, 1986 ; D : S. P. n° 28 ; 41 p.
2. Trochan J. Contribution à l'étude de la végétation du Sénégal. Paris : Librairie La-rose, 1940 ; 433 p.
3. Roose EJ. Impact du défrichement sur la dégradotio des sols tropicaux. Mach Agric Trop 1984 ; 87 : 24-36.
4. Banda AZ, Maghembe JA, Ngugi DN, Chome VA. Effect of intercropping maize and closely spaced *Leucaena* hedgerows on soil conservation and maize yield on a steep slope at Ntchen. Agroforestry Systems 1994 ; 27 : 17-22.
5. Mureithi JG, Tayler RS, Thorpe W. The effects of alley cropping with *Leucaena leu-cocephala* and of different management practices on the productivity of maize and soil chemical properties in lowland coastal Kenya. Agroforestry Systems 1994 ; 27 : 31-51.
6. Okorio J, Byenktr S, Wajja N, Peden D. Comparative performance of seventeen up-perstorey tree species associated with crops in the highlands of Uganda. Agroforestry Systems 1994 ; 26 : 185-203.
7. Tian G, Kang BT. Evaluation of phyto-toxic effects of *Gliricidia sepium* (Jacq) Walp prunings on maize and cowpea seedlings. Agroforestry Systems 1994 ; 26 : 249-54.
8. Depommier D. Propagation et comporte-ment d'espèces à usages multiples en haies vives pour la zone sahélo-soudanienne : ré-sultats préliminaires d'essais menés à Gonse et Dinderosso (Burkina Faso). In : Physiolo-gie des arbres et arbustes en zones aride et semi-aride. Groupe d'étude de l'arbre, 1991 : 155-65.

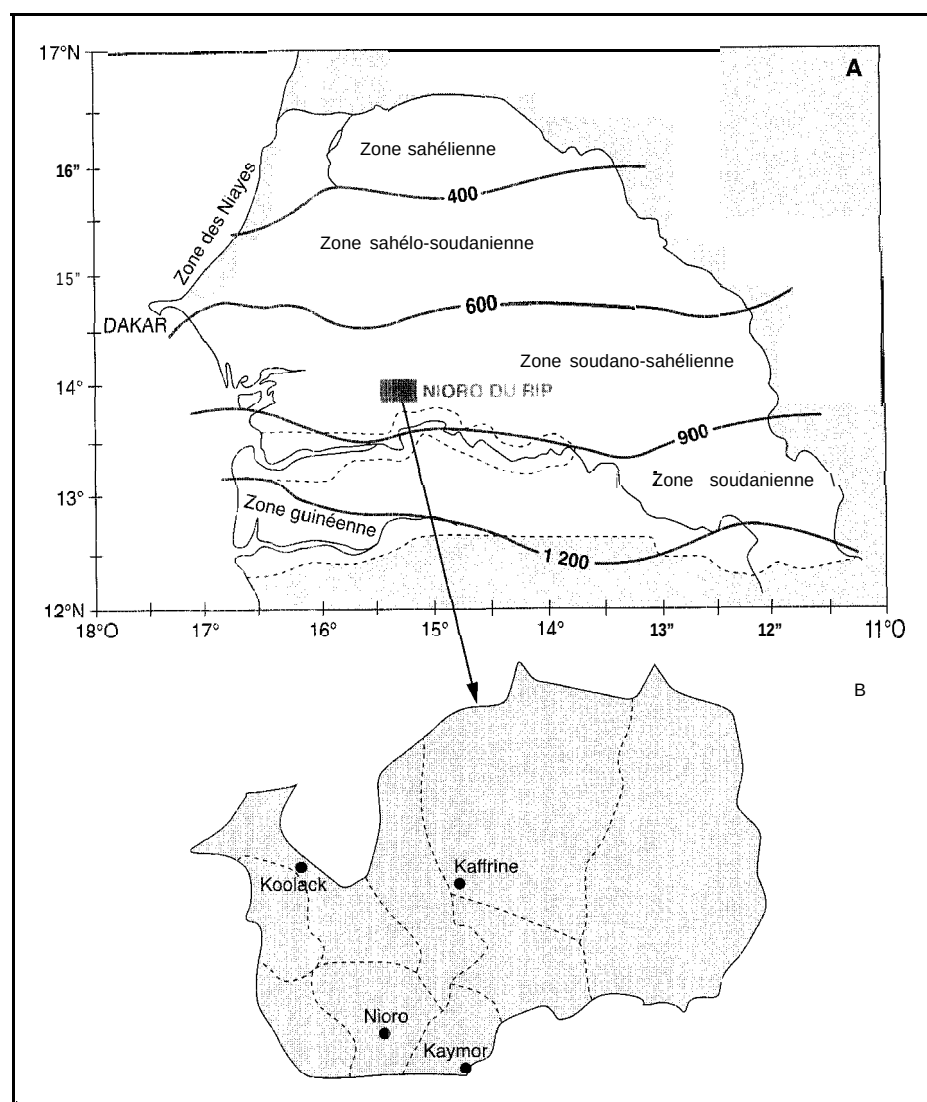


Figure 1. Carte de situation. A : localisation de la zone d'étude dans le contexte bioclimatique du Séné-gal, défini par les isohyètes (1960-1990). les limites bioclimatiques utilisées correspondent aux critères décrits par le Houérou [10]. A : Agrandissement de la zone d'étude.

et de résoudre. Okorio et al. [6] ont montré qu'une Concurrence des racines des ligneux agroforestiers se manifeste sur les Cultures de haricots et de maïs, laquelle est plus prononcée que la com-pétition pour la lumière. Tian et al. [7] ont étudié les effets phytotoxiques de la litière de *Gliricidia sepium* au labora-toire et aux champs sur des cultures de maïs et de pois et ont montré que cette toxicité réelle se manifeste sur les feuilles. Cependant, les effets bénéfiques de la haie vive ajoutés aux différents usages socio-économiques semblent largement compenser son influence négative sur les cultures environnantes. Depom-mier [8] indique, outre les avantages sur

la maîtrise de l'eau, que les fonctions socio-économiques des haies vives, liées à leurs multiples produits secondaires tels que l'énergie, les aliments, les maté-riaux de construction et les revenus issus de la vente de sous-produits comme les feuilles, les fruits, les médicaments, les fourrages, le bois, en font une technique importante du milieu rural, surtout quand la pression démographique est très forte. La zone sahélo-soudanienne est caracté-risée, par ailleurs, par une tendance gé-nérale à un déficit hydrique. L'améliora-tion nécessaire de l'efficacité des pluies suggère la sélection d'espèces ayant une bonne efficacité en eau et/ou une maîtrise des flux hydriques induits par

les précipitations. Le ruissellement, par ses effets négatifs (diminution de l'eau disponible pour la culture, érosion des sols) mais aussi par ses effets positifs (concentration de l'eau dans les endroits privilégiés de bas de pente) influence la productivité agricole [9]. En effet, dans de vastes zones intertropicales, des pourcentages importants des précipitations s'écoulent par ruissellement et drainage profond. Dans le centre du Sénégal, par exemple, Reyniers et Forest [9] indiquent qu'environ 50 % seulement des pluies sont utilisées pour l'alimentation hydrique des végétaux. Dans ces conditions, la réduction du ruissellement et du drainage profond au profit de la production végétale est nécessaire pour améliorer l'efficacité des pluies dans un contexte de déficit croissant.

Les arbres et arbustes végétalisant les dispositifs anti-érosifs en zone tropicale sèche, encore peu étudiés et utilisés, devraient cependant avoir des effets positifs sur la gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité du sol. Ils doivent, en fonction de leur densité et de leur arrangement spatial, avoir la capacité de jouer le rôle de barrière et de filtre mais aussi, compte tenu de leur profil racinaire, de ralentir et de diminuer le drainage profond. Ainsi, la haie vive isohypse pourrait induire un changement dans la redistribution spatiale et temporelle de l'eau qui entraînerait d'autres questionnements. La présence des ligneux induirait-elle des relations complémentaires et/ou concurrentielles avec les cultures (micorhization, symbioses bactériennes ou phénomène d'allélopathie, etc.) ?

L'objectif de ce travail est d'apprécier les effets des haies vives isohypses installées en parcelles paysannes sur les transferts d'eau et sur le rendement des cultures.

Cadre d'étude et méthode

Unités du paysage

La région d'étude est située dans la partie sud du bassin arachidier du Sénégal, sur les terroirs villageois de la communauté rurale de Thyssé-Kaymor (13°45' N et 15°40' O), à une trentaine de kilomètres à l'est de Nioro du Rip. Cette communauté rurale, d'une superficie de 19 500 hectares, fait partie

de l'arrondissement de médina Sabakh, dans la région administrative de Kaolack (figure 1).

Le climat de la région est de type soudanien à deux saisons fortement contrastées : une longue saison sèche (novembre à mai) et une saison des pluies variant de 4 à 5 mois (juin à octobre). La moyenne des pluviosités annuelles sur la série (1970-P 992), réparties entre 60 et 45 jours de pluies, est de l'ordre de 600 mm. La saison des pluies est centrée sur le mois d'août qui reçoit en moyenne 37 % des précipitations [11]. L'analyse de séries observées depuis 1932 à la station de Nioro du Rip montre que la période actuelle s'inscrit dans une tendance générale de déficit pluviométrique. Cette tendance à la baisse des précipitations annuelles a été plus marquée à partir des années 70. Durant la période 1970-1992, la fréquence des années déficitaires s'est accrue.

Les caractéristiques géomorphologiques et édaphiques de la région sont connues grâce aux travaux de Bertrand [12] et Ange [13].

Les différentes unités géomorphologiques identifiées dans la zone (figure 2) sont :

« Le plateau cuirassé compris entre 25 et 40 m d'altitude. La pente générale très faible, inférieure à 1 %, entraîne tout de même une érosion des ho-

rizons supérieurs. Celle-ci est relativement plus forte en bordure de plateau. Les sols sont de type ferrugineux tropicaux peu épais sur cuirasse gravillonnaire à lithosols sur le talus d'éboulis. Cette unité de plateau est utilisée essentiellement pour le pâturage, le ramassage de bois et divers services (cueillette, chasse, etc.).

« Le glacis est une surface entaillée dans les altérites de grès cuirassé. Elle présente différents profils transversaux suivant les secteurs convexe-concaves ou convexes [14]. La profondeur de la cuirasse est très variable et dépend du modelé. Les sols sablo-limoneux sont ferrugineux tropicaux lessivés moyennement profonds de série rouge. Ce sont des sols sensibles à l'érosion lors de leur mise en culture. Cette unité géomorphologique est occupée par le parc agroforestier à *Cordyla pinnata* où l'arachide, le mil et le coton constituent les soles principales

« La terrasse correspond à des formations de colluvionnement et d'alluvionnement épaisses, principalement sableuses, limoneuses en surface et argileuses en profondeur. Son modelé en coupe est localement marqué par des traces d'érosion linéaire, parfois même par un ravinement intense, notamment le long des pistes. Les sols sont ferrugineux tropicaux peu lessivés, profonds et de série beige. La terrasse est occupée par le parc agro-

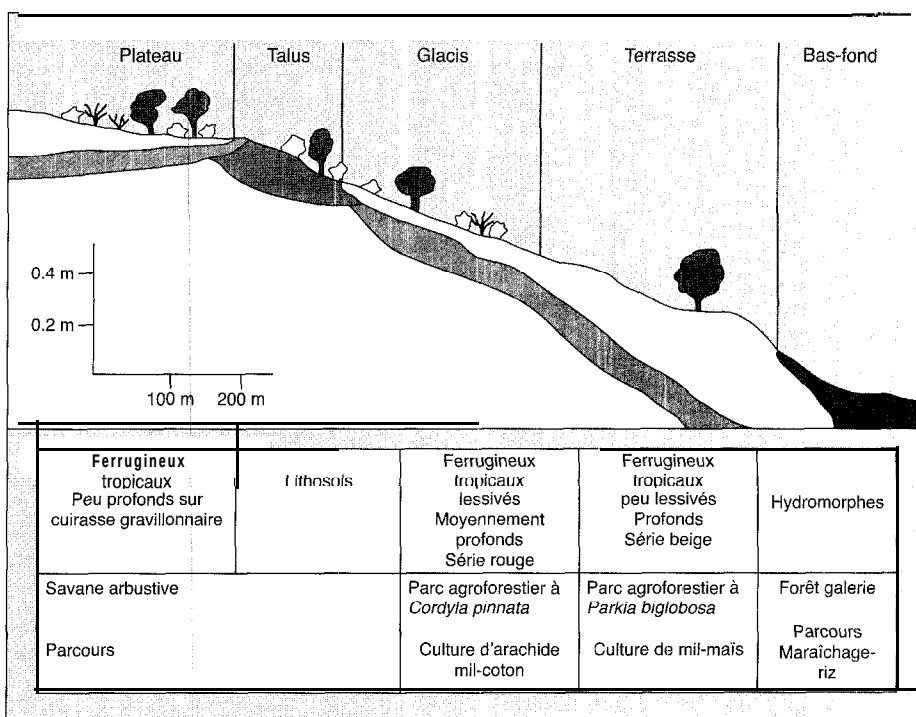


Figure 2. Caractéristiques du bassin versant de Keur Dianko (d'après Diatta et al. [11]).

forestier à *Parkia biglobosa*. Cette zone est exploitée essentiellement pour la culture des céréales (mil, maïs).

Le bas-fond se décompose en une surface alluviale temporairement inondée et une aire colluvio-alluviale latérale. Des traces d'érosion régressive et des indices d'hydromorphie apparaissent sur cette dernière. La surface alluviale temporairement inondée correspond aux lits d'anciens bras du principal axe de drainage de la zone, le baobolon. Cette zone est occupée par la forêt-galerie. Elle est utilisée pour le parcours du bétail, le maraîchage et la culture du riz.

Dispositif expérimental

Les champs de culture situés sur le glacis du bassin versant de Keur Dianko d'une superficie de 60 ha (figure 3) ont été retenus pour conduire cette expérience. Ceux-ci sont constamment menacés par le ruissellement en provenance des surfaces dégradées du plateau cuirassé. Ces champs ont été équipés de haies vives isohypses, dont l'amont et l'aval

ont fait l'objet d'un suivi hydrique, et d'un suivi agronomique des cultures.

La haie vive isohypse est une technique agroforestière simple de lutte anti-érosive appropriable par les paysans. Elle est une formation dense et alignée d'espèces ligneuses (arbustes ou arbrisseaux) et/ou herbacées pérennes (*Vetivera nigritiana*, *Anchpogon gayanus*, *Panicum maximum*) dont l'objectif est de limiter le ruissellement et l'érosion dans les champs de cultures.

Elle permet de réintroduire l'arbre dans le paysage agricole comme l'a proposé Roose [15] dans une stratégie de revégétalisation de l'espace agricole.

Plusieurs critères entrent en compte dans le choix des espèces à utiliser en haie vive : adaptation aux conditions pédo-climatiques, facilité de multiplication, croissance rapide, recouvrement et bonne ramification. Sur la base de ces critères et des besoins des populations, onze espèces ont été retenues. Celles-ci ainsi que leurs caractéristiques, taux de survie et hauteur (après trois saisons de pluie), sont reportées dans le tableau I.

Références

9. Reyniers FN, Forest F. La pluie n'est pas le seul remède à la sécheresse en Afrique. *Sécheresse* 1990 ; 1 : 36-9.

10. Le Houérou HN. *The grazing land eco-systems of African Sahel*. *Ecological Studies* 75. Berlin : Springer-Verlag, 1989 ; 282 p.

11. Diatta M. Mise en défens et techniques agroforestières au Sine-Saloum (Sénégal). Effets sur la conservation de l'eau, du sol et sur la production primaire. Strasbourg : Doctorat Université, scientifique Louis-Pasteur, 1994 ; 202 p.

12. Bertrand R. Morphologie et orientations culturales des régions soudanaises du Sine Saloum (Sénégal) *Agronomie Tropicale* 1972 ; 11 : 111590.

13. Ange A. Stratification des paysages agraires pour l'identification des contraintes à la production agricole, la mise au point et l'essai de solutions techniques. In : ISRA/Département systèmes, ed. *La recherche agronomique pour le milieu paysan*. Nianing (Sénégal) : ISRA (Actes d'atelier), 1985 : 40-55.

14. Brouwers M. Études morphopédologique et hydro-pédologique dans la région de Thyssé Kaymor (Sine-Saloum). Montpellier : Cirad, 1987 ; DRM/L LPM n° 5 ; 40 p.

15. Roose EJ. Terrasses de diversion ou microbarrages perméables ? Analyse de leur efficacité en milieu paysan ouest africain pour la conservation de l'eau et des sols dans la zone soudano-sahélienne. *Cah ORSTOM, sér Pédologie* 1986 ; 2 : 197-208.

16. Perez P, Albergel J, Diatta M, Grouzis M, Sene M. Rehabilitation of a semi-arid ecosystem in Senegal 2. Farm-plot experiments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 1998 ; 1-11.

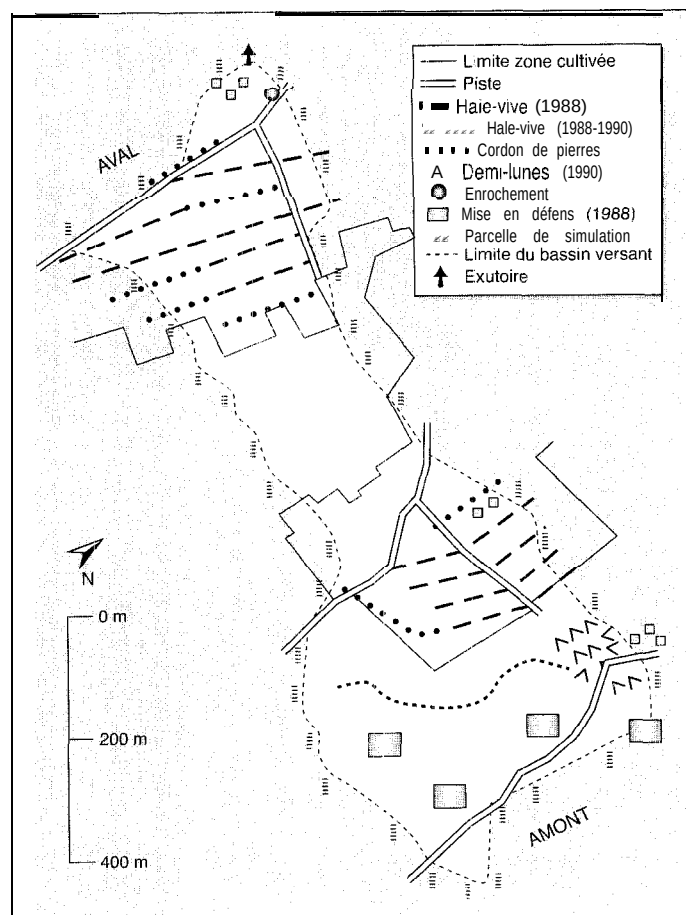


Figure 3. Schéma du dispositif anti-érosif du bassin versant de Keur Dianko (60 ha).

Tableau 1. Caractéristiques des espèces utilisées en haie vive à Thysse-Kovmor en 1991

Espèces utilisées	Taux de survie (%) en 1991	Hauteur (cm) en 1991
Espèces locales		
<i>Acacia nilotica</i> var. <i>adansonii</i> G. Perr.	90	175
<i>Acacia senegal</i> (L.) Willd.	83	120
<i>Acacia seyal</i> Del.	90	210
<i>Acacia mellifera</i>	87	85
<i>Bauhinia rufescens</i> Lam.	92	162
<i>Dichrostachys glomerata</i> (Forsk.) Chiov.	50	80
<i>Piliostigma reticulatum</i> (D. C.) Hothst.	77	85
<i>Ziziphus mauritiana</i> Lam.	78	115
Espèces exotique		
<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	5	75
<i>Prosopis chilensis</i> (Mol.) Stuntz	75	185
	35	120

ta réalisation des plantations en courbe de niveau nécessite un relevé topographique du paysage agricole pour déterminer les lignes isohypses sur lesquelles seront plantés les arbres. Les contraintes liées, d'une part, au parcellaire établi et, d'autre part, aux exigences de la culture attelée ont conduit à lisser certaines courbes de niveau à la demande des propriétaires des champs. Toutes les lignes repérées sont matérialisées par des piquets. Après le repérage, la préparation du chantier a consisté à :

- creuser des tranchées de 50 cm de large sur une profondeur de 50 cm le long des lignes ;

- reboucher ces tranchées avant l'arrivée des premières pluies pour ameublir le site de plantation et améliorer les conditions hydriques des plants.

Les haies vives ont été plantées entre 1988 et 1990 (plantations et regarnis) en fonction du plan de masse reporté sur la figure 3 :

- 12 lignes de longueurs variant entre 150 et 730 m, perpendiculaires à la ligne de plus grande pente ;

- l'écartement est de 50 cm entre les plants sur la ligne ;

- l'écartement entre deux haies, compris entre 40 et 60 m, varie en fonction de la pente ;

- les haies vives sont plurispécifiques dans le but de diversifier et sélectionner les espèces ayant un meilleur comportement dans le site (taux de survie, croissance).

La coupe en hauteur des haies en début de saison des pluies (juin) a pour objectif de limiter la croissance, de favoriser la ramification et la densité à la base et de réduire l'incidence du houppier sur la parcelle de culture. Les produits de cette coupe de gestion sont utilisés, au début, pour colmater les brèches sur la ligne des arbres de manière à renforcer

l'efficacité de la haie, puis pour divers usages domestiques (bois de chauffe, fourrage, etc.).

Suivi hydrique et agronomique

Ce suivi a porté sur une seule ligne d'arbres composée de deux des onze espèces utilisées : *Acacia nilotica* var. *adansonii* et *Ziziphus mauritiana*.

« Suivi hydrique

Les variations du stock hydrique du sol en fonction de la position et de la distance à la haie vive sont d'abord appréciées. Pour cela, l'humidité a été mesurée sur des prélèvements faits à la tarière. Les prélèvements ont été réalisés sur des sites en amont et en aval de la haie vive. Ces sites sont répartis respectivement à 0,5 m (sous la haie), 1 m (limite de la frondaison), 2 et 5 m (extérieur de la haie) suivant un dispositif en lignes perpendiculaires à la haie vive avec trois répétitions. L'écartement entre deux lignes est de 10 mètres. Bien évidemment, les prélèvements ne peuvent être effectués au même endroit. Le suivi des stocks hydriques réalisé avec un pas de temps d'environ 15 jours, durant la saison des pluies a débuté en saison sèche avant la première averse et s'est prolongé un mois après la dernière pluie pendant les années 1991 et 1992. Le stock hydrique est évalué sur une épaisseur de sol d'un mètre. Pour l'analyse, les observations provenant des sites situés en amont sont séparées de celles réalisées en aval de la haie vive.

« Suivi agronomique

L'influence de la haie vive sur les cultures a été évaluée sur l'arachide en

1991 et le mil en 1992, dans un système de rotation arachide/mil pratiqué dans la zone d'étude. Un dispositif en blocs randomisés a été utilisé pour étudier la variabilité spatiale des rendements des cultures par rapport à la haie vive. Le rendement a été mesuré sur des lignes d'un mètre de long pour l'arachide et dans des parcelles de dimensions 1 X 2 m pour le mil, avec 3 répétitions par distance (1, 2 et 5 m en amont et en aval de la haie vive).

La production totale des parties aériennes (gousses + fane) et la production de gousses pour l'arachide aussi bien que la production totale des parties aériennes (épis + tiges + feuilles) et la production d'épis pour le mil ont été quantifiées. Les données sont soumises à une analyse de variance.

Résultats

Les prélèvements d'échantillons de sol effectués au cours des deux campagnes de mesures (1991 et 1992) donnent l'humidité en profondeur et les stocks d'eau par rapport à la distance à la haie vive. Ces résultats reportés au tableau II et illustrés sur la figure 4 mettent en évidence une différence de comportement hydrique probablement liée à la haie vive. A proximité immédiate des arbres (0,5 à 1 m), l'humidité du sol est plus élevée et l'humectation plus profonde. En revanche, l'humidité du sol au niveau des profils éloignés (profils extérieurs) de la haie vive (2 à 5 m) est nettement moins élevée. Au niveau de ces derniers, le front d'humectation est peu profond et affiche un retard de progression vers les horizons sous-jacents. On peut, en comparant les différents profils en amont et en aval, observer une légère tendance à un avancement plus profond du front d'humectation en amont, sans toutefois observer de différence significative entre des profils situés à égale distance et de part et d'autre de l'axe de la haie.

Par ailleurs, le suivi au cours du temps des profils hydriques en relation avec la haie vive a montré une forte variation des stocks d'eau par rapport à la distribution de la pluviométrie (tableau III) et en fonction de la saison (figure 5).

Les stocks d'eau mesurés respectivement avant la première averse de la saison (15 juin 1991), au cours de la saison

Tableau II. Stocks hydriques en fonction des dates et de la distance de la haie vive

Date	Aval				Amont			
Campagne 1991 (m)	5	2	1	0,5	0,5	2	1	5
15/06/1991 (d1) (mm)	80	70	84	80	88	1	72	74
31/07/1991 (d2) (mm)	104	84	92	120	50	184	92	88
Humidité (A %) = $d2 - d1/d1$ (%)	30	20	9	50	152	33	28	17
28/08/1991 (d3) (mm)	112	90	92	140	1	128	92	100
Humidité (A %) = $d3 - d1/d1$ (%)	40	28	9	75	73	112	27	35
07/10/1991 (d4) (mm)	88	96	96	96	112	108	92	84
Humidité (A %) = $d4 - d1/d1$ (%)	10	37	14	17	27	29	28	14
Campagne 1992								
02/11/1992 (d1) (mm)	83	80	87	87	87	90	94	96
15/06/1992 (d2) (mm)	77	73	92	111	114	101	77	77
Humidité (A %) = $d2 - d1/d1$ (%)	-7	-7	6	27	31	12	-18	-19
28/07/1992 (d3) (mm)	87	90	108	122	139	132	143	94
Humidité (A %) = $d3 - d1/d1$ (%)	4	12	24	40	59	46	52	-2
19/08/1992 (d4) (mm)	94	87	108	136	143	139	111	80
Humidité (A %) = $d4 - d1/d1$ (%)	13	8	24	56	64	54	18	-16
29/09/1992 (d5) (mm)	97	97	111	122	132	130	118	101
Humidité (A %) = $d5 - d1/d1$ (%)	16	21	27	40	51	44	25	5

Références

17. Kiepe P. Cover and barrier effect of *Cassia siamea* hedgerows on soil conservation in semi-arid Kenya. *Soil Technology* 1996 ; 9 : 161-71.

18. Singh RP., Ong CK, Saharan N. Above and below ground interaction in alley-cropping in semi-arid India. *Agroforestry Systems* 1989 ; 9 : 259-74.

19. Monteith JL, Ong CK, Corelett JE. Microclimatic interaction in agroforestry systems. *For Ecol Manage* 1991 ; A5 : 31-44.

20. Salazar A, Szott LT, Palm CA. Crop-tree interactions in alley cropping systems on alluvial soils of the Upper Amazon Basin. *Agroforestry Systems* 22 : 67-82.

21. Annerose D. *Recherches sur les mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse. Application au cas de l'arachide (Arachis hypogaea L.) cultivé au Sénégal*. Paris : Thèse d'Université Jussieu, 1990 ; 281 p.

22. Fournier A. *Phénologie, croissance et production végétales dans quelques savanes d'Afrique de l'Ouest. Variation selon un gradient climatique*. Paris : Orstom Ed., Coll. Études et thèses 1991 ; 312 p.

23. Pearcy RW, Ehlinger J. Comparative ecophysiology of C3 and C4 plants. *Plant Cell Env* 1984 ; 7 : 1-13.

24. Mordet P. Influence of tree shading on carbon assimilation of grass leaves in Lamto savanna, Côte d'Ivoire. *Acta Oecologica* 1993 : 119-27.

25. Daouda OS, Emmanuel R, Mirini O. Rôle du système racinaire dans la résistance à la sécheresse chez le mil : analyse de la rhizogenèse post-florale. In : Hamon S, ed. *Le mil en Afrique : diversité génétique agro-physiologique : potentialités et contraintes pour l'amélioration génétique et l'agriculture*. Paris : Orstom, Coll. Colloques et séminaires, 1993 : 188-204.

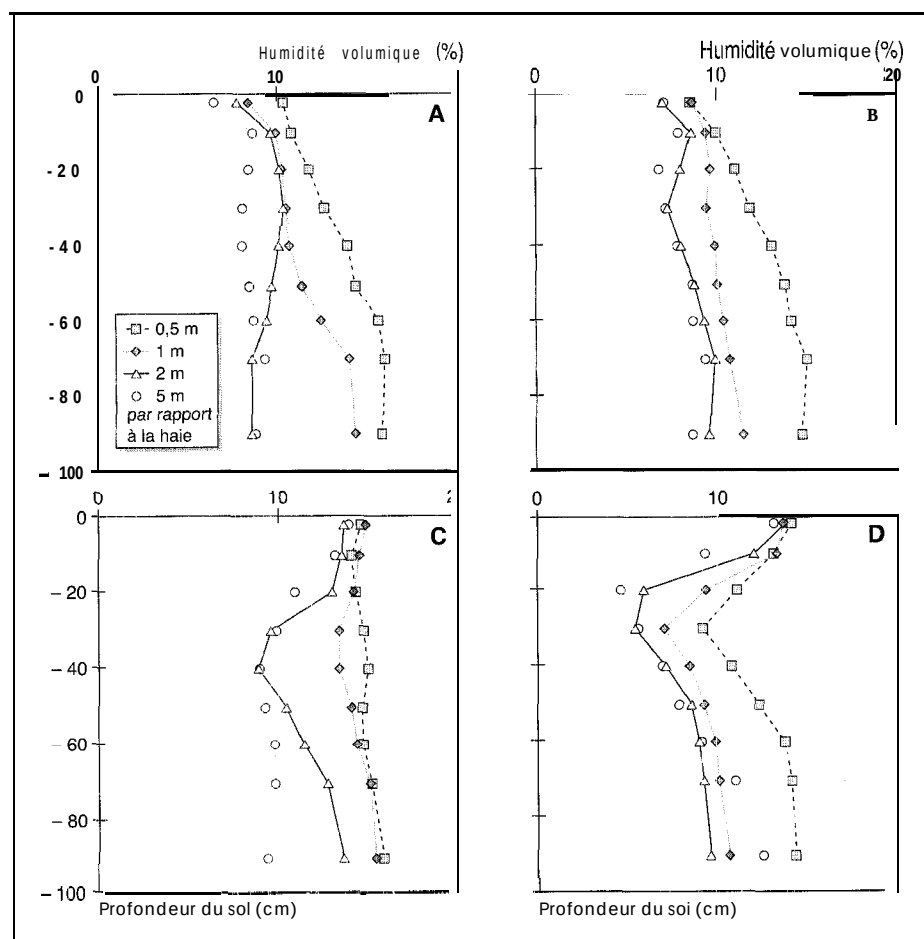


Figure 4. Profils hydriques en amont (A et C) et en aval (B et D) des haies vives le 28 juillet 1991 (A et B) et le 2 septembre 1992 (C et D).

des pluies (31 juillet et 28 août pour 1991 et 2 octobre 1992) sont reportés l'année 1991 ; 15 juin, 28 juillet, au tableau II. Il faut souligner que, en 29 août et 29 septembre en 1992) et 1992, à défaut d'une mesure avant la après la dernière averse (7 octobre première averse, nous avons considéré

Tableau III. Données pluviométriques (mm) en 1991 et 1992							
Mois	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Total
Jours	15-31	1-15	1-15	1-15	1-15	1-15	
Cumuls 1991	0	15	82	15	15	15	
Cumuls 1992	0	81,5	120,9	169,4	196,4	308,6	
Nombre jours de pluie (1991)	0	3	10	12	10	3	
Nombre jours de pluie (1992)	1	3	10	12	10	3	
							482,5
							641,5
							27
							40

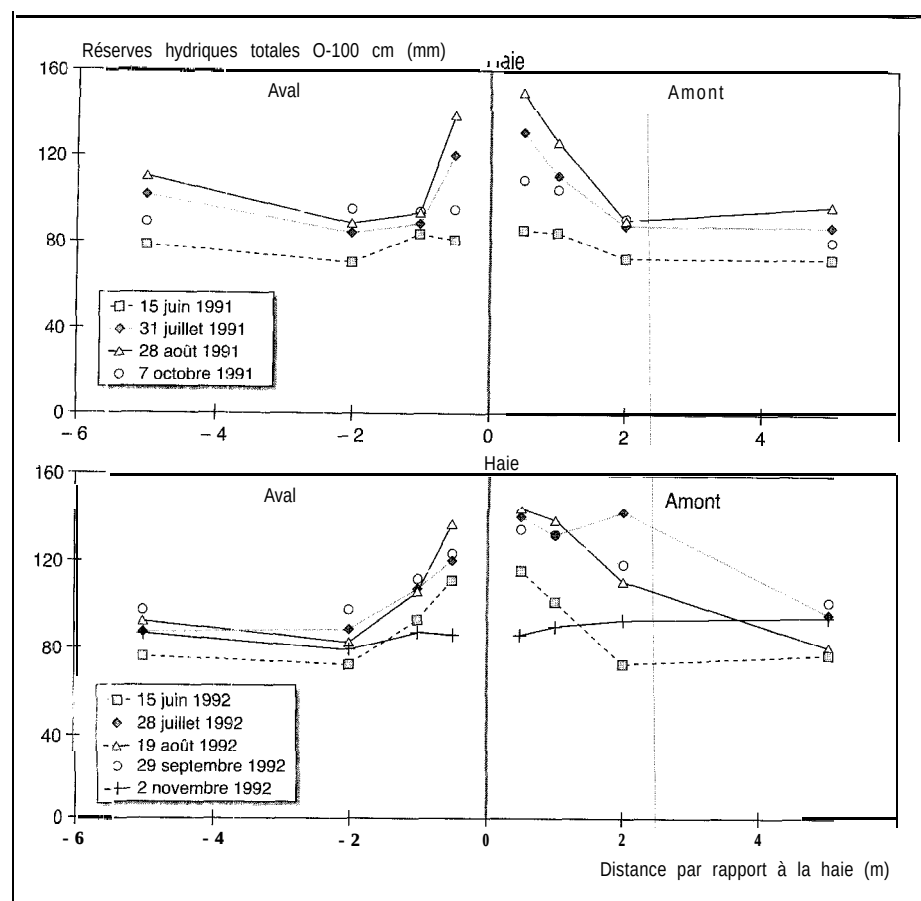


Figure 5. Influence des haies vives sur le stock hydrique du sol sur la tranche 0 à 100 cm.

le profil du 2 novembre correspondant à un mois après la dernière averse (arrêt de la saison des pluies) comme étant le profil de référence (profil sec). Ce tableau résume les principaux résultats que l'on peut tirer de ces deux années de suivi du stock hydrique du sol en fonction de l'éloignement de la haie vive et l'évolution de la pluviométrie. Il apparaît, en effet, une différence entre le 15 juin 1991 et le 2 novembre 1992, dates de référence qui correspondent aux profils secs, et les autres dates (profils humides) au cours des deux campagnes de mesure (1991 et 1992). L'analyse des résultats portés sur le tableau I permet de constater que :

en 1991, avec une pluviosité déficitaire de l'ordre de 482,5 mm en moyenne (normale de l'ordre de 700 mm), le stock hydrique entre le

profil sec (15 juin) et le profil le plus humide (28 août) a augmenté respectivement de 75 % à 0,50 m, 9 % à 1 m, 28 % à 2 m et 40 % à 5 m en aval et de 73 % à 0,50 m, 52 % à 1 m, 28 % à 2 m et 35 % à 5 m en amont de la haie vive ;

en 1992, avec une pluviosité meilleure (tableau III), le stock hydrique entre le profil sec (2 novembre) et le profil le plus humide (29 septembre) a augmenté respectivement de 40 % à 0,50 m de la haie vive, 27 % à 1 m, 21 % à 2 m et 17 % à 5 m en aval ; et 52 % à 0,50 m de la haie vive, 44 % à 1 m, 25 % à 2 m et 5 % à 5 m en amont.

Ce résultat montre que, entre le profil sec et le profil le plus humide, le stock d'eau a augmenté davantage au voisinage immédiat (0 à 2 m) de la haie vive qu'à l'extérieur de celle-ci (2 à 5 m). Le stock hydrique a augmenté davantage en 1991 qu'en 1992. En revanche, en fin de saison des pluies, on remarque une diminution importante du stock d'eau à proximité immédiate de la haie vive (profil du 2 novembre 1992). Cette diminution est plus prononcée sous la haie (0,5 m).

La figure 6 résume les rendements des cultures d'arachide et de mil obtenus au cours des deux années d'observations. L'examen de cette figure montre que le rendement des cultures a tendance à décroître à proximité immédiate de la haie vive. On remarque cependant que cet effet dépressif de la haie vive est plus sensible pour le mil.

Ce résultat est confirmé par l'analyse de variance réalisée sur la production totale des parties aériennes (gousses + fane et gousse) pour l'arachide, (épis + tiges + feuilles et épis) pour le mil. Les résultats de cette analyse reportés au tableau IV montrent, au seuil de 5 %, une différence significative pour le mil et non significative pour l'arachide.

Tableau IV. Effet de la haie vive sur la production des cultures (test de Neewmon Kheuls ou seuil de 5 %) de mil et d'arachide		
Distance par rapport à la haie vive	Produits (moyennes) kg.ha ⁻¹	Groupes homogènes
Mil		
5 m	2 841,67	A
2 m	2 529,17	B
1 m	1 825,50	C
Arachide		
5 m	4 791,7	D
2 m	4 70,83	D
1 m	4 45,83	D

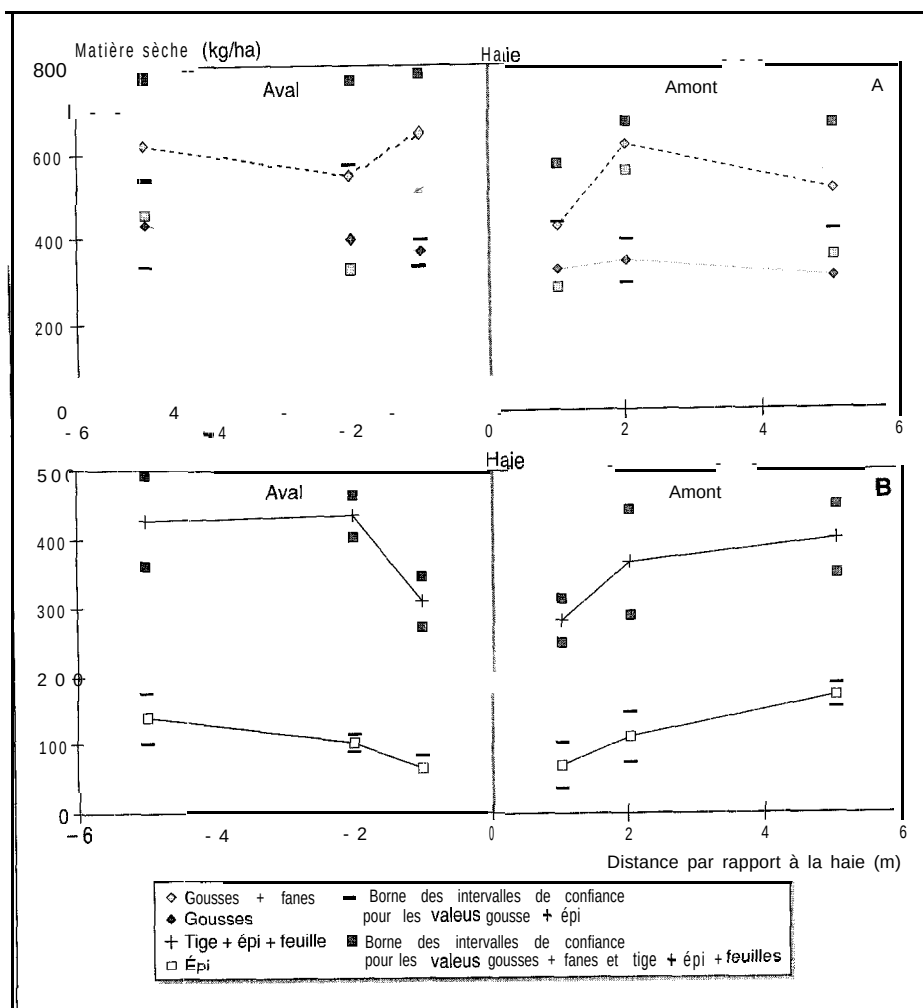


Figure 6. Effets de la haie vive sur les cultures d'arachides 1991 (A) et de mil 1992 (B).

Discussion

La différence observée entre le profil sec et le profil le plus humide suggère une capacité de stockage d'eau importante à proximité de la ligne d'arbres. Perez *et al.* [16] montrent une différence de l'évapotranspiration entre les zones proximale (0,5 à 1 m) et externe (2 à 5 m) de la haie vive. Ils trouvent un ratio de 1:3 en faveur de la proximité à la haie vive. Cependant, le stock d'eau a partout augmenté quelle que soit la distance à la haie en amont comme en aval. Les valeurs du stock hydrique observées en 1991 sont plus élevées que celles enregistrées en 1992 malgré la pluviosité nettement meilleure en 1992. Par conséquent, le profil du 2 novembre 1992 considéré comme référence n'est en réalité pas un profil sec. Cela sup-

pose qu'il y a encore un stock d'eau relativement important sous la haie vive, un mois après l'arrêt de la pluie. Ce stock d'eau a cependant fortement diminué à 0,5 m de la ligne d'arbres, ce qui traduit une augmentation de la consommation en eau des arbres. Cependant, il faut souligner que, en saison des pluies, l'effet perte d'eau au voisinage immédiat de la haie vive par évapotranspiration est atténué par l'apport du ruissellement et l'infiltration.

Les stocks d'eau mesurés en aval et en amont de la haie vive entre les profils secs et humides pour les deux années montrent des valeurs plus élevées en amont. En moyenne, ces valeurs sont de 48 et 31,5 % en amont et de 38 et 27,25 % en aval respectivement en 1991 et 1992. La réduction du ruissellement par la haie vive se traduit par une

augmentation de l'infiltration avec une amélioration plus nette du profil hydrique sur une distance de 2 m en amont et de 1 m en aval de la haie. Kiepe [17] a travaillé sur des haies de *Cassia siamea* au Kenya et trouve que celles-ci diminuent de 23 % les pertes d'eau par ruissellement.

Il y aurait donc, pendant la phase pluvieuse, une capacité de stockage d'eau plus grande sur la ligne d'arbres due probablement à l'amélioration de la structure du sol (bonne porosité) favorable à l'infiltration.

Perez *et al.* [16] ayant travaillé dans la même zone indiquent, en moyenne, des vitesses d'infiltration de 90 mm/h, quel que soit le type de sol.

Concernant les cultures, au bout de deux années d'évaluation, on observe un effet dépressif de la haie vive sur le mil qui diminue à mesure qu'on s'éloigne du couvert ligneux. Ainsi, au voisinage immédiat de la haie vive (0,5 m), le rendement de mil est des plus bas. Ce résultat obtenu est corroboré par ceux des travaux antérieurs. En effet, la littérature agroforestière rapporte des cas de concurrence entre arbres et cultures. Singh *et al.* [18] ont évalué l'effet de quelques espèces ligneuses sur les cultures de sorgho et de pois dans un système de culture en couloirs. Ils ont montré des valeurs d'indice de surface foliaire, de rendement en grain, de matière sèche totale de sorgho et de pois plus élevées dans des parcelles de culture pure (sans arbres) et dans les parcelles situées au milieu des allées de sorgho et de pois que dans celles qui avoisinent les arbres. De même, Mouteith *et al.* [19] ont montré, avec une culture de mil en association avec des ligneux, que les rendements ont fléchi dans les parcelles proches des arbres et peuvent dépasser 50 % des rendements en monoculture selon certains auteurs. Aussi, Salazar *et al.* [20] ayant étudié les effets de haies de *Leucaena leucocephala* et *Erythrina* sp. sur la culture du riz *Oriza sativa* var. Carolina observent une réduction de 60 % des rendements à proximité immédiate de la haie vive (0,5 m).

En ce qui concerne la production d'arachide, il n'y a pas eu d'effet net de la haie vive. Pourtant cette espèce (*Arachis hypogea*) est citée parmi celles qui s'adaptent le moins facilement à la culture intercalaire.

La concurrence des arbres se marque à la fois par l'occupation des racines, la consommation d'eau et de fertilisants, et par l'onbrage. L'effet dépressif de la haie sur le mil à faible distance alors qu'il y a plus d'eau près de celle-ci conduit à des interrogations. Les cultures peuvent également subir des pertes de rendement du fait de l'action phytotoxique des arbres. En effet, chez certaines essences, il se produit des réactions allélopathiques provoquées par des substances contenues dans les feuilles tombées à terre ou par des exsudats racinaires toxiques (phénols). Tian et Kang [7] ont mis en évidence l'action phytotoxique de la litière de *Gliricidia sepium* sur les cultures. Ces auteurs ne se sont pas intéressés aux rendements, mais se sont focalisés sur la croissance des plants de maïs et de pois.

Le mil (plante C4) et l'arachide (C3) ont-ils les mêmes exigences en lumière et les mêmes efficacités en eau ? A cette question, Annerose [21] et Fournier [22] ont montré que le mil est plus exigeant que l'arachide pour la lumière. Les plantes C4 incorporent davantage de carbone avec : une utilisation plus efficace de l'eau, à ouverture stomatique égale, que les plantes C3. En effet, pour l'eau, l'arachide est plus exigeant que le mil.

Pearcy et Ehlinger [23], ayant étudié l'assimilation de carbone de trois espèces herbacées désertiques de type C4, ont trouvé une forte corrélation entre l'assimilation de carbone et l'énergie reçue par les feuilles. Mordelet [24] trouve la même chose pour *Hyparrhenia diplandra* en Côte d'Ivoire. On pourrait donc tenter d'expliquer la chute du rendement de mil par l'effet d'ombre des arbres qui réduit l'efficacité photosynthétique de cette plante.

Contrairement à l'arachide, le mil exploite-t-il la même zone racinaire que les arbres de la haie vive ? Les résultats obtenus suggèrent qu'il y a suffisamment d'eau sous la zone d'influence de la haie vive pour qu'il se pose un problème de compétition hydrique entre la culture et les arbres. En plus, dans la même zone, la profondeur moyenne

d'enracinement est de 1,5 m pour l'arachide et 1,7 m pour le mil. Ces profondeurs de loin supérieures à celles considérées dans cette étude révèlent que les cultures peuvent encore disposer de stocks d'eau en profondeur.

L'amélioration des profils hydriques par réduction du ruissellement peut s'accompagner d'une lixiviation lors du drainage profond. La lixiviation importante à proximité de la haie vive entraînerait une malnutrition minérale du mil dans une zone racinaire identique à celle des arbres [25]. Ces derniers concluent que le drainage cause soit une lixiviation de l'azote, soit une asphyxie des racines.

En plus, Tian et Kang [7], sur les cultures de haricots et de maïs, trouvent que la concurrence des racines est plus prononcée que celle pour la lumière. Des élagages des racines et des couronnes des ligneux ont permis à ces auteurs de minimiser les concurrences. Mureithi *et al.* [5] ont été confrontés à une baisse de 30 % des rendements en graines du maïs à proximité de la haie de *Leucaena leucocephala*. Ces auteurs ont par la suite obtenu une hausse des rendements de 44 % en appliquant le *mulching* de la totalité des feuilles des arbres.

Donc, le problème de ces interactions arbres/cultures se poserait davantage en termes de réactions allélopathiques, provoquées par des substances contenues dans les feuilles tombées à terre ou par des exsudats racinaires toxiques, ou de concurrence à la lumière, ou de lixiviation, selon les résultats de Okorio *et al.* [6] et de Daouda *et al.* [25]. La concurrence racinaire est largement compensée par l'épandage d'engrais vert de certaines espèces ligneuses [6]. Ces résultats posent des interrogations sur le choix des espèces ligneuses à utiliser dans les associations arbre/culture.

Conclusion

L'efficacité de la haie vive sur les phénomènes du ruissellement et de l'infiltration est bien établie et on observe :

- ~ une réduction de ruissellement qui se traduit par l'augmentation de l'infiltration avec une amélioration du profil hydrique sur une distance de 2 m en amont et de 1 m en aval ;

- ~ une très forte diminution du stock d'eau à proximité immédiate de la haie vive (profil du 2 novembre 1992) un mois après l'arrêt de la pluie. Il semble donc que le gain d'infiltration soit en grande partie utilisé par la haie vive pour les besoins des arbres en début de saison sèche.

Sur le plan de la production des cultures, on constate une baisse des rendements à proximité des haies plus importante pour le mil que pour l'arachide.

En définitive, la haie vive isohypse permet de réduire la vitesse du ruissellement, d'augmenter l'infiltration sous les arbres et de limiter en conséquence les transferts d'eau vers l'aval. Son influence négative sur le rendement semble ne concerner que le mil, à proximité immédiate de la haie.

Dans un écosystème de plus en plus menacé et fragilisé par une dégradation continue des ressources ligneuses, il apparaît nécessaire de conserver, voire d'améliorer, et de gérer les ressources existantes. Les apports dans ce domaine d'une haie vive isohypse à l'échelle du bassin versant se situent à différents niveaux :

- ~ un cloisonnement du paysage dégradé par la réintroduction de l'arbre dans le système de cultures, pouvant conduire à un embocagement progressif ;

- ~ un renforcement des capacités de gestion intégrée des ressources naturelles, en particulier ligneuses à l'échelle du terroir villageois, des populations rurales ;

- ~ une appropriation des techniques agroforestières, notamment la haie vive, par les populations, en facilitant leur diffusion à différents niveaux d'échelles géographiques (bassin versant, terroirs villageois, petites régions agricoles) et de type d'organisation sociale (ferme individuelle/familiale, association villageoise/communautaire)

La surexploitation de la végétation du plateau cuirasse de Keur Dianko, terroir villageois de la communauté rurale de Thyssé-Kaymor (13°45' N ; 15°40' O), et la réduction du temps de jachère ont fragilisé les sols superficiels et donné naissance au ruissellement. Les haies vives isohypses sont des aménagements de petite hydraulique agricole, utilisés au Sahel pour limiter le ruissellement et l'érosion des terres agricoles. L'étude de son importance sur la gestion de l'eau du sol et sur le rendement des cultures s'est déroulée dans les zones de cultures situées sur le glacis de la toposéquence d'un bassin versant de Keur Dianko. Après quatre années d'installation, le suivi du réseau de douze haies vives constituées de onze espèces ligneuses [*Acacia nilotica* var. *adansonii* VG.Perr., *Acacia senegal* (L.) Willd., *Acacia seyal* Del., *Acacia mellifera*, *Bauhinia rufescens* Lam., *Dichrostachys glomerata* (Forsk) Chiov., *Piliostigma reticulatum* (D.C.) Hochst., *Ziziphos mauritiana* Lam., *Gliricidia sepium*, *Parkinsonia aculeata* Lam., *Prosopis chilensis* (Mol.) Stuntz], plantées à partir de 1988, a montré : une plus importante humidité suivie d'un front d'humectation plus profond au niveau des profils situés entre 0,5 et 1 m de la haie vive que ceux entre 2 et 5 m ; une meilleure infiltration de l'eau en amont qu'en aval de la haie vive ; une forte différenciation des stocks hydriques en fonction des saisons et de la distance à la haie (entre 0,5 et 1 m, le stockage est plus important en amont qu'en aval, et entre les saisons humide et sèche, l'écart entre les profils est de 80 mm). Cette amélioration du profil et du stock hydriques près de la haie s'accompagne curieusement de baisses de rendement, plus fortes chez le mil que chez l'arachide. Les causes réelles de ce déclin seraient liées à la concurrence exercée par les arbres sur les cultures ou à des phénomènes de toxicité racinaire.

Sujets : Agriculture ; Environnement.

Overuse of vegetation on the Keur Dianko plateau (13°45' N ; 15°40' W) and reduction of fallowing time have weakened the ferruginous crust soils in this area and given rise to runoff phenomena. Isohyse quickset hedges help balance Sahelian ecosystem and reduce runoff and erosion of arable land. Their effects on groundwater management and crop yields were studied on the Keur Dianko basin glacis. Four years after planting these quickset hedges, the effects of 12 hedgerows formed with 11 different species (*Acacia nilotica* var. *adansonii*, *A. senegal*, *A. seyal*, *A. mellifera*, *Bauhinia rufescens*, *Dichrostachys glomerata*, *Piliostigma reticulatum*, *Ziziphos mauritiana*, *Gliricidia sepium*, *Parkinsonia aculeata*, *Prosopis chilensis*) were assessed and gave the following results: humidity and deep leaching were highest 0.5-1 m from the hedgerows than from 2 to 5 m; better water infiltration upstream than downstream from the hedges; marked difference in water reserves according to seasons and distance from the hedgerows (from 0.5 to 1 m, water storage was greater downstream than upstream, with an 80 mm difference between rainy season and dry season levels in the same soil horizon). These soil moisture profile and water storage improvements near hedgerows were strangely enough accompanied by crop yield losses (greater in millet than groundnut). This trend might be explained by tree root competition with crops or hedge root toxicity.