

REBOISEMENT D'UN SOL HARDÉ

Effet des techniques d'aménagement de surface

par Jean-Michel HARMAND
Ingénieur de recherche CIRAD-Forêt, détaché à l'IRA



Ce jeune *Acacia senegal* a pu reverdir et démarrer sa croissance dès le mois de mai, grâce à l'interception de l'eau de ruissellement par les fossés en anneaux.

RÉSUMÉ

L'auteur fait le point sur le développement de plusieurs dizaines d'espèces d'arbres plantées sur des sols Hardé, en utilisant pour certaines d'entre elles différents travaux du sol. Le but est de trouver celles qui sont susceptibles de contribuer à la restauration de ces sols, tout en assurant une certaine production de bois, de fruits ou de produits divers aux agriculteurs.

Un premier essai, installé en 83 à Gaklé, permet de comparer la croissance d'*Eucalyptus camaldulensis* sans travail du sol, avec labour et avec différentes profondeurs de sous-solage. En l'absence de travail du sol, le boisement disparaît. Le travail mécanique du terrain permet une croissance initiale d'autant plus grande qu'il est profond, mais ses effets s'estompent avec le temps et la production finale de bois, de l'ordre de 1 m³/ha/an, est trop faible pour rentabiliser le coût d'installation.

L'essai de type *split-plot*, installé à Salak en 85, concerne quatre espèces plantées avec quatre types de travaux du sol. Les espèces exotiques ne survivent que grâce aux dispositifs d'économie de l'eau. Dans le meilleur des cas (diguettes) *Dalbergia sissoo* atteint difficilement la production de 1 m³/ha/an, alors qu'*Azadirachta indica* produit plus de 2 m³/ha/an. Les espèces locales peuvent survivre même avec une simple trouaison, mais le sous-solage ou la mise en place d'un réseau de diguettes permet d'améliorer fortement leur production jusqu'à 1,6 m³/ha/an pour *Acacia nilotica adstringens* et à plus de 2 m³/ha/an pour *Sclerocarya birrea*. En outre, ces espèces produisent des gousses utilisées dans l'artisanat du cuir, pour le premier, et des fruits comestibles pour le second.

Un essai de type carré latin, installé en 1986 également à Salak, permet de comparer la croissance d'*Acacia senegal* en fonction de quatre dispositifs d'économie de l'eau réalisés manuellement. Le taux de survie de cette espèce locale est, dans tous les cas, supérieur à 80 % et se trouve amélioré par les dispositifs. Ceux-ci ont, par ailleurs, un effet très net sur la croissance en hauteur; celle-ci est améliorée de 20 % par des fossés de 20 cm de profondeur, creusés selon un anneau de 50 cm autour du plant, et par la levée d'un réseau de diguettes de 15 cm de haut reliant les plants entre eux; elle est enfin améliorée de plus de 30 % par le creusement de

fossés rectilignes de 1,5 m de long, 30 cm de large et de profondeur, creusés à 10 cm du plant du côté amont. A partir de 1993, des études seront menées sur la production de gomme de ces arbres, en fonction des dispositifs d'économie de l'eau.

Enfin, afin de diversifier la gamme d'espèces utilisables, on a réalisé en 1985 un criblage de 18 espèces locales, de 6 espèces exotiques déjà utilisées dans la région et de 16 espèces introduites d'Amérique Centrale. Cet essai a subi un incendie accidentel qui a opéré une sélection des espèces tolérantes au feu; c'est ainsi que la plupart des acacias locaux n'ont pas été affectés. Pour la croissance, on peut classer les espèces locales d'acacia dans l'ordre décroissant suivant: *Acacia dudgeoni*, *Acacia nilotica ssp. adstringens*, *Acacia sieberiana*, *Acacia nilotica ssp. nilotica* et *Acacia senegal*. Parmi les espèces exotiques dites « acclimatées », *Eucalyptus camaldulensis* et *Azadirachta indica* ont une croissance acceptable et résistent assez bien à divers traumatismes (dégâts du bétail, feu). De nombreuses espèces d'Amérique Centrale ont eu une bonne croissance de départ mais, après quelques années, seuls *Gliricidia sepium* et *Senna atomaria* ont survécu au passage du feu et ont eu une croissance comparable à celle des acacias locaux.

Pour terminer, l'auteur donne les coûts totaux des plantations d'arbres sur ce type de sol; elles s'échelonnent de 230 000 FCFA/ha pour le sous-solage à 130 000 FCFA/ha pour les diguettes ou les fossés en anneaux. Ces coûts sont très élevés comparés à la modeste production de bois. Ils ne peuvent être envisagés, pour les travaux mécaniques, qu'avec l'appui de fonds extérieurs ou, pour les travaux manuels, que si les populations les réalisent à temps perdu avec un objectif diversifié (production de bois, de gomme, régénération des pâturages, amélioration de la fertilité du sol en vue de remise en culture ultérieure). Dans les systèmes de culture actuels, ces travaux peuvent être plus facilement entrepris par un groupe d'agriculteurs que par un seul individu. En effet, une plantation d'arbres de faible surface, isolée au milieu d'un terroir à muskwari alternativement cultivé et pâturé, pourrait être détruite, dans son jeune âge, par le bétail; elle servirait de refuge à des oiseaux ou à des rongeurs nuisibles pour les cultures voisines et serait difficile à protéger contre les feux pratiqués avant le repiquage du sorgho.

ABSTRACT

The author reports on tens of tree species which were planted on Hardé soils; most of the trees were planted using different soil preparation techniques. The objective of the research was to select the species which could regenerate the soil and at the same time produce wood, fruits and various other products for the farmer.

The first trial was put in place at Gaklé in 1983 to compare the growth of *Eucalyptus camaldulensis* planted without soil preparation with that planted on soil ploughed at different

depths. Trees planted without soil preparation failed to grow and disappeared over time. Those planted on the ploughed fields grew better as the depth of ploughing increased. The effects of depth however diminished with time and the final wood production of 1 m³/ha/yr. was too small to justify the cost of plantation installation.

A split-plot design trial was set up at Salak in 1985 using four tree species and four methods of soil preparation. It was found that the exotic species could only survive with the help

RÉHABILITATION

of microcatchment systems. In the best of the cases (dykes) *Dalbergia sissoo* hardly produced 1 m³/ha/yr. while *Azadirachta indica* produced 2 m³/ha/yr. The local species would survive even in the case of simple digging of holes and planting, but ploughing or the installation of dykes improved their production up to 1.6 m³/ha/yr. for *Acacia nilotica adstringens* and more than 2 m³/ha/yr. for *Sclerocarya birrea*. Furthermore, *Acacia nilotica* produces a tanning product while *Sclerocarya birrea* produces edible fruits.

Another trial, of the Latin square type, was equally installed at Salak in 1986 to compare the growth of *Acacia senegal* using four manual methods of soil preparation/microcatchment systems. The survival rate of this local species was in all four cases higher than 80 % and the performance of the species was improved by the presence of the devices. These devices have a clear positive effect on the height growth. There is a 20 % gain in height where a 50 cm wide pit with a depth of 20 cm is dug round the tree and where a network of 15 cm high dykes are constructed to link the plants to one another. On the other hand there is more than 30 % height growth improvement when rectangular pits of 1.5 m long, 30 cm wide and 30 cm deep are dug on the upper side and at 10 cm from the plant. It is envisaged to carry out a study on gum production from these trees and for each soil microcatchment systems.

Lastly, and in view of diversifying the number of species which could be used on Hardé soils, a behaviour study was put in place involving 18 local species, six exotic species already in use in the region and 16 newly introduced from Central America. This trial accidentally got burnt but the act

helped to sort out the fire resistant species from the non resistant ones. It was observed that most of the local acacias were not affected by the fire. Concerning height growth, the species can be classified in the following descending order : *Acacia dudgeoni*, *Acacia nilotica ssp. adstringens*, *Acacia sieberiana*, *Acacia nilotica ssp. nilotica* and *Acacia senegal*. Among the « acclimatized » exotic species, *Eucalyptus camaldulensis* and *Azadirachta indica* have an acceptable growth and are resistant enough to animal and fire destruction. Many of the Central American species have a good take off growth, but only *Gliricidia sepium* and *Sena atomaria* are able to survive the passage of fire a few years after planting and their growth is comparable to that of the local acacias.

The author ends up by giving the total costs of planting trees on this type of soil. These range from 230 000 FCFA/ha for ploughing and 130 000 FCFA/ha for dykes or circular pits. These costs are very high given the modest volume of wood produced. This type of work can only be realized mechanically if there is external funding or manually during the peasant's idle hours for various purposes (wood production, gum production, range land regeneration, soil fertility improvement, etc). Under the actual cultivation systems, this type of work is more easily realized by a group of farmers rather than a single individual. In fact, an isolated, young, small forest plantation in the middle of a field which alternates between muskuari and grazing could easily be destroyed by cattle. It could also serve as a refuge for birds and marauding rodents for other farms. Such plantations could also be difficult to protect against fires which are usually used to prepare fields for sorghum planting.



Le fossé permet le stockage, puis l'infiltration de l'eau qui ruisselle sur ce Hardé peu perméable. La flèche désigne une auréole blanche qui témoigne de la présence de sel de sodium dans le sol.

Au Nord-Cameroun, la forte occupation des terres agricoles par les cultures pluviales de coton, sorgho, arachide...avait poussé les services de développement, il y a plus de 25 ans, à envisager la mise en valeur des sols Hardé, dénudés, compactés, considérés comme incultes.

Ces terres Hardé, souvent abandonnées au pâturage, font office de maigres réserves de bois et de produits de cueillette.

Les premiers travaux de réhabilitation des sols Hardé ont porté sur leur mise en culture avec des travaux de sous-solage ou d'aménagement en diguettes.

A partir de 1979, le Centre de Recherches Forestières de Maroua s'est préoccupé de la mise en valeur de ces sols par des reboisements.

CARACTÉRISATION DU SITE DE SALAK

Le site de Salak se trouve à 25 km au sud de Maroua, à proximité de Gaklé, à l'altitude de 400 m, sur un terrain plat. La pluviosité annuelle y est de 800 mm.

Le sol formé sur alluvions anciennes est un planosol désigné sous le nom de Hardé. Un premier horizon limono-sableux de 15 à 40 cm d'épaisseur, très battant et revêtu en surface d'une patine, repose, au niveau d'un contact planique, sur un horizon très argileux et très compact. L'état induré du sol serait dû à « une alcalinisation du profil, le sodium étant responsable de la défloculation des argiles » (GUIS, 1976), photo p. 83.

En raison de sa compaction et de son imperméabilité (80 % de ruissellement d'après SEINY-BOUKAR *et al.*), ce sol, presque totalement dénudé, est considéré comme improductif pour l'agriculture.

Ce faciès écologique, dont la dégradation résulterait de facteurs anthropiques (déboisement, mise en culture, surpâturage,...), suppose des travaux particuliers pour sa réhabilitation. Ces travaux viseront tout d'abord à rétablir le régime hydrique du sol.

PREMIÈRES TENTATIVES DE RÉCUPÉRATION DES SOLS « HARDÉ »

« Les premières tentatives de récupération des sols Hardé pour leur mise en culture de coton étaient fondées sur des essais de régénération de la structure du sol par **sous-solage** avec des moyens mécaniques lourds. Ces moyens, onéreux, avaient une **efficacité localisée et éphémère** et les résultats étaient peu probants » (HUMBEL, 1966, rapporté par GUIS, 1976). Après quelques années, l'effet du sous-solage disparaissait et le sol se recomcompactait. A partir de 1967, l'IRAT* s'est attaché à définir une technique de mise en culture des sols Hardé en utilisant « une plante à enracinement superficiel mettant à profit l'imper-

méabilité du milieu : le riz » (VAILLE, 1970). « L'aménagement du Hardé consistait à lever des diguettes suivant les courbes de niveau (dénivelé d'environ 10 à 20 cm) avec cloisonnement dans le sens de la pente. Avant la culture, le sol était préparé par piochage et émottage à la daba » (GUIS, 1976).

Ces travaux ont duré environ cinq ans et ont concerné les sols Hardé de Guétalé, Kaliao, Djoulgouf et Salak. L'utilisation de variétés de riz à cycle court a permis de bons rendements qui se maintiennent au cours du

* Devenu, le 1er juillet 1992 : CIRAD-CA.

temps (2 à 4 t/ha avec une pluviosité annuelle de 700 mm à 800 mm).

Pour ce qui est de l'évolution du sol Hardé sous riziculture : « l'aménagement en diguettes limite le ruissellement et accroît la pénétration de l'eau dans le sol. L'humidification du profil permet la riziculture, mais surtout redonne vie au sol. Par ses mouvements dans le sol, l'eau lessive le sodium, redressant le pH et flocculant les colloïdes ; les cycles

d'humectation/dessiccation restructurent le sol et libèrent le potassium des réseaux argileux.

La riziculture a son action propre par le travail du sol, les apports d'engrais et le rôle des racines.

Globalement, l'aménagement et la mise en culture engagent le sol dans un processus dynamique d'amélioration physico-chimique qui permet, à long terme, leur réintégration parmi les terres agricoles » (GUIS, 1976).

PREMIERS ESSAIS DE REBOISEMENT DES SOLS HARDÉ

Dès 1979, le Centre de Recherches Forestières de Maroua a entrepris à Gaklé, village situé à 25 km au sud de Maroua, des essais de reboisement pour une mise en valeur de vertisols dégradés, compactés (à tendance Hardé) et abandonnés par l'agriculture. Ces essais consistaient à étudier la régénération de la structure du sol par des travaux de sous-solage ou de labour. L'objectif de ces travaux était de constituer un volume important de sol ameubli et d'augmenter ainsi la réserve hydrique du sol afin de favoriser le démarrage rapide des plants. Les résultats obtenus peuvent être résumés dans l'essai travail du sol Gaklé 1983-07.

ESSAI TRAVAIL DU SOL DE GAKLÉ EN 1983

■ Méthode d'étude

L'essai travail du sol Gaklé 1983.07 est situé sur un terrain plat ; le sol est de type vertisol dégradé et la pluviosité annuelle est de 800 mm.

● Traitements

- . SS 50 : sous-solage simple à trois dents à 50 cm de profondeur.
- . SS 40 : sous-solage simple à trois dents à 40 cm de profondeur.
- . SS 80-40 : sous-solage simple, une dent à la profondeur de 80 cm, deux dents à la profondeur de 40 cm.
- . LB : labour au tracteur équipé d'une charrue à socs, à une profondeur de 25 cm, travail après le début de la saison des pluies.
- . T : témoin, trouaison manuelle : 40 cm × 40 cm × 40 cm.

- **Dispositif** : bloc complet randomisé à quatre répétitions = 70 plants par placeau à l'espacement de : 4 m × 4 m

- **Espèce-test** : *Eucalyptus camaldulensis*.

- **Protection** : contre le feu et contre le pâturage.

- **Plantation** : début août 1983

- **Mesures** : en décembre de chaque année, on mesure la hauteur de chaque arbre à l'aide d'une perche graduée tous les 10 cm et on relève les arbres manquants.

■ Résultats et discussion

Un an et demi après l'installation du boisement, il apparaît que la plantation par la méthode classique (trouaison) est un échec (taux de survie des arbres < 30 %). En revanche, le travail mécanique du sol (sous-solage ou labour) a permis un bon démarrage des arbres.

Dès la troisième année, de très nombreux individus, pourtant de grande taille, ont commencé à dépérir. Le taux de survie du traitement labour est tombé rapidement en dessous de 50 %. Le taux de survie du traitement sous-solage décroît moins vite et se stabilise autour de 65 %.

Dans notre cas, l'analyse statistique a porté en 1989 sur le produit : Hauteur moyenne × Taux de survie, paramètre sans signification dendrométrique qui permet néanmoins de comparer les traitements entre eux. Les différences en faveur du sous-solage au détriment du labour et de la simple trouaison sont d'autant plus significatives que le sous-solage est profond. Le sous-solage est ici la meilleure préparation de sol ; il permet

TABLEAU I

Hauteur et taux de survie des arbres de l'essai Gaklé 83-07

Traitements		SS 50	SS 40	SS 80/40	LB	T
décembre 1984	hauteur moyenne en cm	307	248	339	283	111
1,5 ans	taux de survie	89%	85%	92%	86%	29%
décembre 1987	hauteur moyenne en cm	495	425	560	485	443
4,5 ans	taux de survie	66%	62%	86%	44%	29%
décembre 1989	hauteur moyenne en cm	548	626	742	571	527
6,5 ans	taux de survie	55% ab*	62% ab	77% a	32% b	29% b

* Groupes homogènes : a, b, c
 Deux valeurs indexées d'une lettre différente sont statistiquement différentes au seuil de 5 %
 Sources : R. PELTIER, 1988 et J.-M. HARMAND, 1990

une bonne croissance initiale des arbres. Cependant, son effet s'estompe après quelques années et le rendement obtenu (estimé à 1 m³ de bois/ha/an) ne permet qu'une modeste production de perches qui s'avère insuffisante pour rentabiliser les investissements importants (sous-solage + plantation tous les quatre mètres : 250 000 FCFA/ha). Les résultats obtenus avec *Dalbergia sissoo* sont encore moins probants ; l'espèce ne tolère pas la compacité de ce sol et dépérit rapidement.

Des essais de plantation d'espèces locales (*Acacia nilotica ssp. adstringens*, *Ziziphus mauritiana*) ont été réalisés également à Gaklé en 1983 avec sous-solage ; malgré une croissance lente, le taux de survie des espèces, de 70 % à 85 % à 6 ans et demi, est bien meilleur que celui des espèces exotiques, « d'ou l'intérêt, lorsqu'un potentiel de régénération existe, d'envisager un aménagement de la savane au lieu de plantations non rentables » (PELTIER, 1988).

LE PLANOSOL DE SALAK

Influence des aménagements de surface sur la croissance des espèces plantées

L'objectif du dispositif de Salak est de mettre au point un référentiel technique sur les possibilités de valorisation des sols Hardé par des reboisements.

Les essais installés en 1985 et 1986 couvrent une surface globale de 5,86 ha. Ces essais portent sur la sélection des espèces ligneuses et sur les techniques de travail du sol. L'objectif du travail du sol est d'augmenter la réserve hydrique et de constituer un volume suffisant de sol ameubli, favorisant la régénération de la végétation spontanée et la croissance des espèces plantées. Le dispositif comprend deux essais de criblage d'espèces et un essai de travail du sol.

Ces trois parcelles d'essais font l'objet d'une protection contre le feu et le bétail. Cependant, un feu accidentel a parcouru l'ensemble du dispositif le 25 mars 1990.

ESSAI TRAVAIL DU SOL ASSOCIÉ À LA PLANTATION D'ESPÈCES LIGNEUSES LOCALES ET EXOTIQUES SALAK 85-01

■ Méthode d'étude

La parcelle, d'une surface de 2,56 ha, a été mise en place en 1985 sur un terrain dénudé.

● Traitements

**Premier facteur : TRAVAIL DU SOL
 (quatre niveaux)**

1 SAS — **Sous-solage croisé** au bulldozer à 40 cm de profondeur.

2 SAD — **Aménagement en diguettes à la main** : trouaison manuelle à la barre à mine, sur un volume de 40 cm × 40 cm × 40 cm, avec rebouchage en formant une butte, puis construction de diguettes de 20 cm de haut reliant les buttes entre elles et délimitant ainsi des casiers de 4 m de côté.

Les diguettes sont levées à la main en plusieurs passages. En effet, au début, le sol est trop dur et on ne peut creuser qu'un léger sillon. Après les premières pluies, ce sillon s'est humidifié et il est possible de creuser davantage pour lever une diguette de 20 cm de haut. Il faut commencer à aménager le haut du bassin versant pour éviter aux diguettes situées à l'aval d'être détruites par l'eau qui ruisselle de l'amont. Les ouvrages ont été réhabilités en deuxième année, puis se sont stabilisés.

3 SAL — **Aménagement en diguettes (idem 2) avec mise en culture des casiers en première année**, culture utilisée : le riz.

4 SAT — **Témoin, trouaison manuelle** : 40 cm × 40 cm × 40 cm, trou rebouché légèrement en creux. Pas d'autres dispositifs d'économie de l'eau, ni de travail du sol entre les trous.

Deuxième facteur : ESPÈCE LIGNEUSE (quatre niveaux)

- a : *Azadirachta indica*
- b : *Acacia nilotica ssp. adstringens*
- c : *Dalbergia sissoo* sur blocs 1, 2 et 4 seulement
- d : *Sclerocarya birrea* sur blocs 1, 2 et 4 seulement.

Les plants des quatre espèces ont été éduqués en pépinière, à partir de graines récoltées localement.

Les productions attendues sont :

- pour *Azadirachta indica* et *Dalbergia sissoo*, deux espèces exotiques acclimatées à la région : le bois de service ;
- pour *Acacia nilotica*, espèce locale : le bois de feu, le bois de service et les gousses pour la fabrication du tannin ;
- pour *Sclerocarya birrea*, espèce locale : les fruits comestibles (parfois appelés « prunes ») et le bois de feu accessoirement.
- **Dispositif** : *Split-plot* à deux niveaux, quatre répéti-

tions 5 × 5 = 25 plants par placeau élémentaire à l'espacement de 4 m × 4 m.

- **Plantation** : 25 juin 1985.
- **Protection** : contre le feu et le bétail.
- **Plan de l'essai** :

bloc 1		bloc 2		bloc 3		bloc 4	
c	a	b	a	b	a	d	c
1		2		4		3	
b	d	d	c	vide		a	b
c	d	a	c	vide		c	a
2		3		1		2	
b	a	b	d	b	a	d	b
b	d	b	c	b	a	c	b
3		4		2		4	
a	c	d	a	vide		a	d
c	d	a	c	vide		a	c
4		1		3		1	
a	b	d	b	b	a	d	b

• **Mesures**

En décembre de chaque année, on mesure la hauteur de chaque arbre planté à l'aide d'une perche graduée tous les 10 cm et on relève le taux de survie.

Une exploitation partielle du peuplement a été réalisée en 1990 sur une répétition. Les arbres ont été coupés au ras du sol, le bois de diamètre inférieur à 3 cm a été pesé ; une densité du bois a été établie pour chaque espèce, au moment de la coupe, à partir d'échantillons dont le poids et le volume ont été mesurés au laboratoire.

Le terrain exploité correspondant au bloc n° 1 de l'essai a été dessouché et mis en culture de sorgho en 1990.

■ **Résultats et discussion**

Les résultats de mensurations de hauteur des arbres, présentés en partie dans le tableau II, ont permis d'établir les courbes d'évolution du taux de survie et de croissance en hauteur des espèces (fig. 1 à 12, pp. 88, 90 et 91).

RÉHABILITATION

ESSAI SALAK 85.01

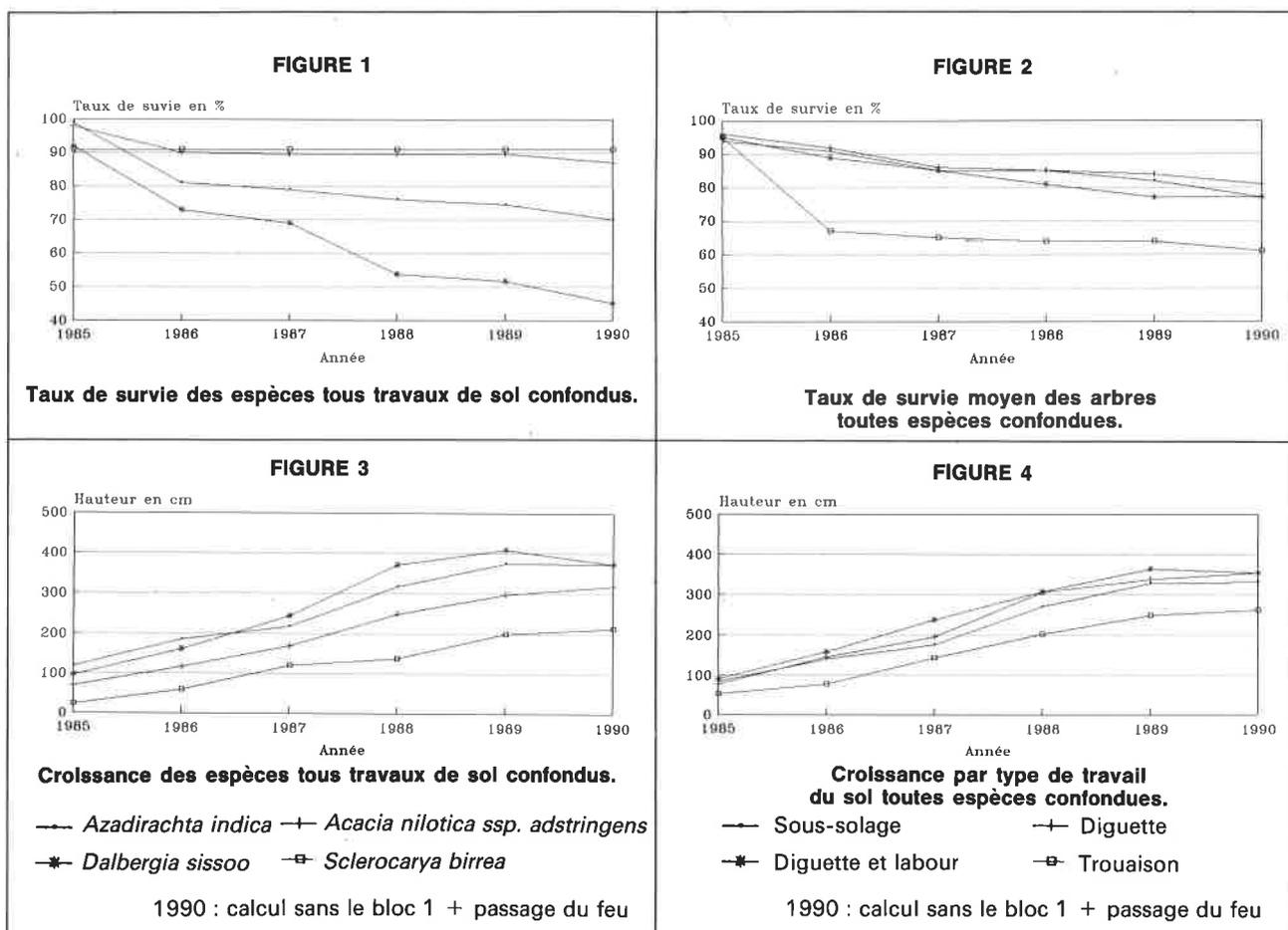


TABLEAU II

**Hauteur et taux de survie
des arbres de l'essai Salak 85-01**

Espèce ligneuse	Travail du sol	Année 1988 : 3,5 ans				Année 1989 : 4,5 ans			
		SAS	SAD	SAL	SAT	SAS	SAD	SAL	SAT
<i>Azadirachta indica</i>	Hm (cm)	282b	357a	379a	248b	358b	392b	434a	314c
	TS	83%	80%	83%	58%	80%	80%	80%	58%
<i>Acacia nilotica ssp. adstringens</i>	Hm (cm)	241a	273a	310a	169b	295a	328a	360a	207b
	TS	92%	94%	96%	77%	91%	94%	96%	77%
<i>Dalbergia sissoo</i>	Hm (cm)	377	399	420	286	426	416	455	336
	TS	67%	64%	51%	33%	65%	64%	45%	32%
<i>Sclerocarya birrea</i>	Hm (cm)	149	175	126	100	233	216	207	138
	TS	92%	96%	87%	89%	91%	96%	87%	89%
Moyenne par travail du sol	Hm (cm)	270ab	306a	307a	201b	328ab	338ab	364a	248b
	écart/SAT	34%	52%	52%	—	32%	36%	46%	—
	TS	85%	85%	81%	64%	82%	84%	77%	64%

Hm : hauteur moyenne en cm

a, b, c : groupes homogènes

TS : taux de survie au seuil de 5%

TABLEAU III

Productions des espèces ligneuses à cinq ans en m³/ha/an

Exploitation partielle du peuplement sur une seule répétition : le bloc n° 1 en mai 1990

	Travail du sol				Moyenne par espèce
	SAS	SAD	SAL	SAT	
<i>Azadirachta indica</i>	0,55	3,1	2	0,45	1,52
<i>Acacia nilotica ssp. adstringens</i>	1,64	1,67	1,6	0,1	1,25
<i>Dalbergia sissoo</i>	1	0,53	0,39	0,3	0,55
<i>Sclerocarya birrea</i>	0,54	2,36	2,27	0,21	1,34
Moyenne par type de travail	0,93	1,92	1,56	0,2	

TRAVAIL DU SOL

Tableaux II et III et Fig. 2 et 4

Il apparaît que la simple trouaison (SAT) se montre globalement inférieure aux autres travaux du sol.

A deux ans et demi de plantation, « le système aménagement en diguettes + (labour en année 1) se montre le plus efficace sur la croissance en hauteur des espèces ; de tous les traitements, c'est celui qui assure le plus rapidement la recolonisation complète du sol nu par le tapis herbacé » (PELTIER, 1988).

De façon générale, pour les années suivantes, les aménagements en diguettes se montrent supérieurs au sous-solage et tout d'abord, de façon significative pour certaines espèces (cas du neem). Ceci confirme les études du régime hydrique du sol réalisées entre 1985 et 1987 sur cet essai : « **Sans travail du sol**, seuls les 40 premiers centimètres sont humectés pendant la saison des pluies et le reste d'eau ruisselle. **Le sous-solage** améliore le profil hydrique en profondeur pendant la première année, mais très rapidement son effet diminue, le sol se recompacte et les réserves hydriques deviennent même inférieures à celles de la simple trouaison dès la troisième saison des pluies. **Les diguettes** forcent continuellement l'eau à s'infiltrer sur toute la surface du sol, elles augmentent la profondeur d'humectation au-delà de l'horizon induré, elles sont le dispositif le plus conservateur d'eau » (EYOG MATIG, 1990).

L'aménagement en diguettes présente également la meilleure efficacité en ce qui concerne le recouvrement herbacé (DONFACK, 1991).

Enfin, les écarts de hauteur des arbres entre les systèmes de diguettes et le sous-solage diminuent progressivement à partir de la troisième année et s'inversent parfois (cas du *Sclerocarya birrea*). De même, les écarts entre les différents aménagements de surface et le témoin (simple trouaison) se réduisent sensiblement, ce qui peut s'expliquer par les faits suivants :

- La contiguïté des traitements fait que les parcelles « témoin » et les parcelles non aménagées profitent du blocage de l'eau des aménagements voisins qui constituent des barrages.
- Ainsi le rétablissement du régime hydrique du sol, associé à la protection contre le feu et le bétail, favorise-t-il la recolonisation par la végétation herbacée sur l'ensemble du terrain avec l'amorce d'une pédogénèse ; et les parcelles « témoin » évoluent alors favorablement dans le même sens que les parcelles aménagées.

ESPÈCES LIGNEUSES

Fig. 1 et 3

L'analyse globale des résultats met en évidence les aspects suivants :

- A trois ans et demi, le taux de survie du *Dalbergia sissoo* se montre significativement inférieur à celui des autres espèces.
- La croissance en hauteur des espèces exotiques (*Azadirachta indica*, *Dalbergia sissoo*) s'arrête, en 1989, à quatre ans et demi ; par conséquent, une coupe totale ou bien une éclaircie du peuplement s'imposent à ce moment-là, la croissance des espèces locales (*Acacia nilotica ssp. adstringens*, *Sclerocarya birrea*) reste linéaire du temps et ne fléchit pas encore ou peu avant la sixième année.
- Chaque espèce présente un comportement variable à l'égard des différents travaux du sol.

- *Dalbergia sissoo*
Fig. 1, 3, 8, et 11

Le travail du sol (sous-solage, casiers de diguettes) permet un bon démarrage de cette espèce exotique acclimatée ; d'ailleurs, sa croissance en hauteur est au départ meilleure que celles des autres espèces utilisées. Cependant, à partir de la troisième année, un grand nombre d'individus dépérissent, et le taux de survie moyen en 1990, à cinq ans et demi, n'est plus que de 45 %. De ce fait, la production de cette espèce est également faible (de 0,5 à 1 m³/ha/an à cinq ans).

« Cette espèce à croissance rapide est manifestement mal adaptée à ce sol dont la compacité et l'hydromorphie gênent le développement du système racinaire, qui ne parvient plus, à partir d'un certain âge, à assurer les besoins en eau du houppier » (EYOG MATIG O., 1993). Par ailleurs, l'espèce s'est montrée sensible au feu.

● ***Azadirachta indica***
Fig. 1, 3, 5 et 9

Cette espèce exotique réagit bien aux traitements. Le taux de survie, en 1990 à cinq ans et demi, est de 70 % pour les différents travaux de sol et de 58 % pour les parcelles-témoins. En 1988, l'analyse des mensurations de hauteurs montre des différences significatives en faveur de l'aménagement en diguettes au détriment du sous-solage et de la simple trouaison. La production du neem planté sur diguettes est supérieure à 2 m³/ha/an. Sa croissance sur sol Hardé

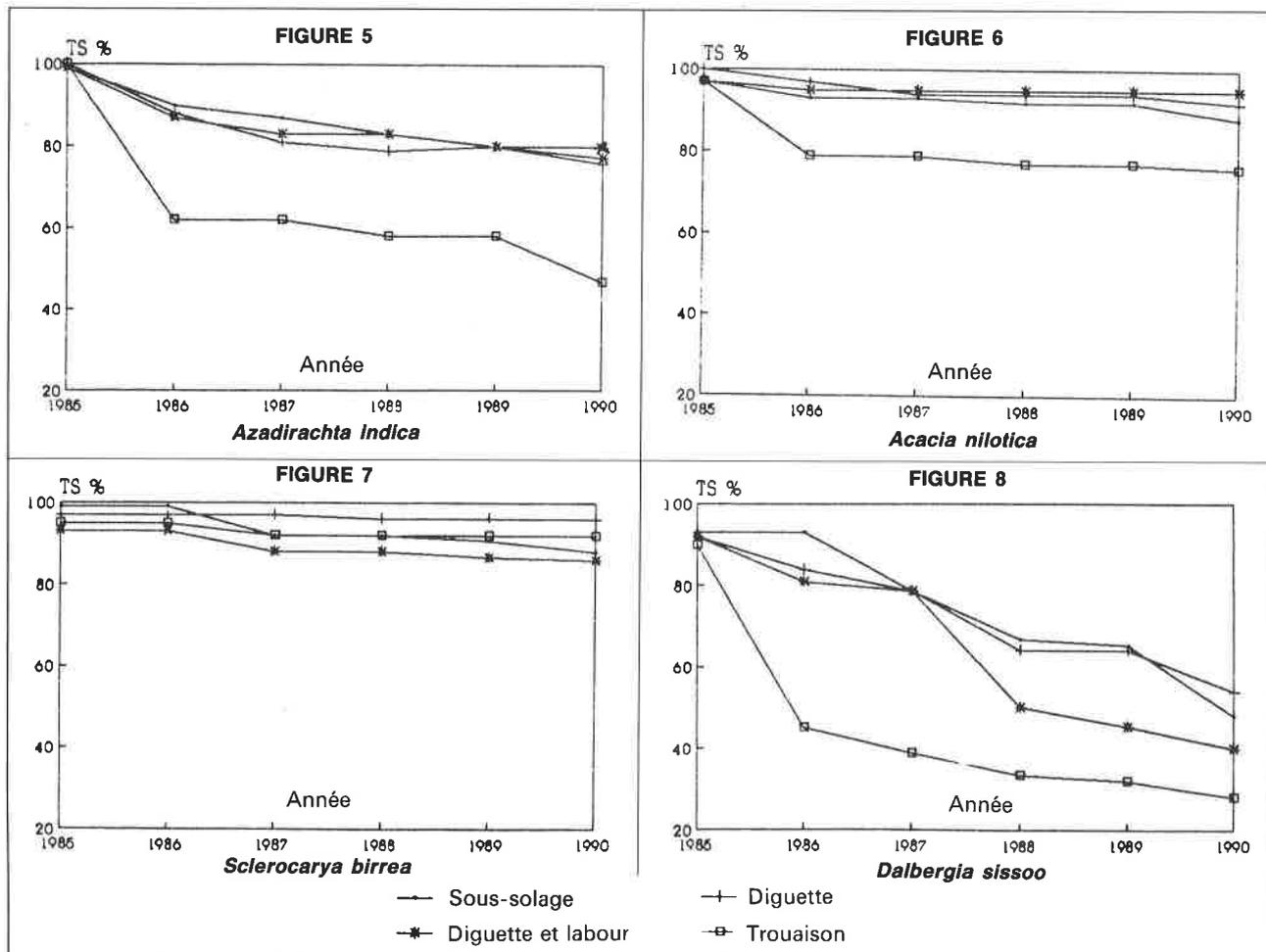
aménagé est comparable à celle sur vertisol dans les zones voisines.

L'espèce s'est montrée également sensible au feu courant qui a traversé la parcelle en 1990 et a provoqué 20 % de mortalité dans les parcelles-témoins.

● ***Acacia nilotica ssp. adstringens***
Fig. 1, 3, 6, et 10

Cette espèce locale réagit bien aux traitements. Le taux de survie, en 1990 à cinq ans et demi, est de 86 % pour les différents travaux de sol et de 77 % pour les parcelles-témoins. Au niveau de la croissance en hauteur, on constate une supériorité significative des préparations de sol par rapport à la simple trouaison; en outre, l'aménagement en diguettes semble meilleur que le sous-solage. Cette espèce supporte bien les milieux hydromorphes asphyxiants. Sa production sur parcelles aménagées est convenable (de l'ordre de 1,6 m³/ha/an) et dérisoire sur parcelles non aménagées.

TAUX DE SURVIE PAR TYPE DE TRAVAIL DU SOL



L'espèce s'est montrée très résistante au feu accidentel de 1990.

● **Sclerocarya birrea**
Fig. 1, 3, 7 et 12

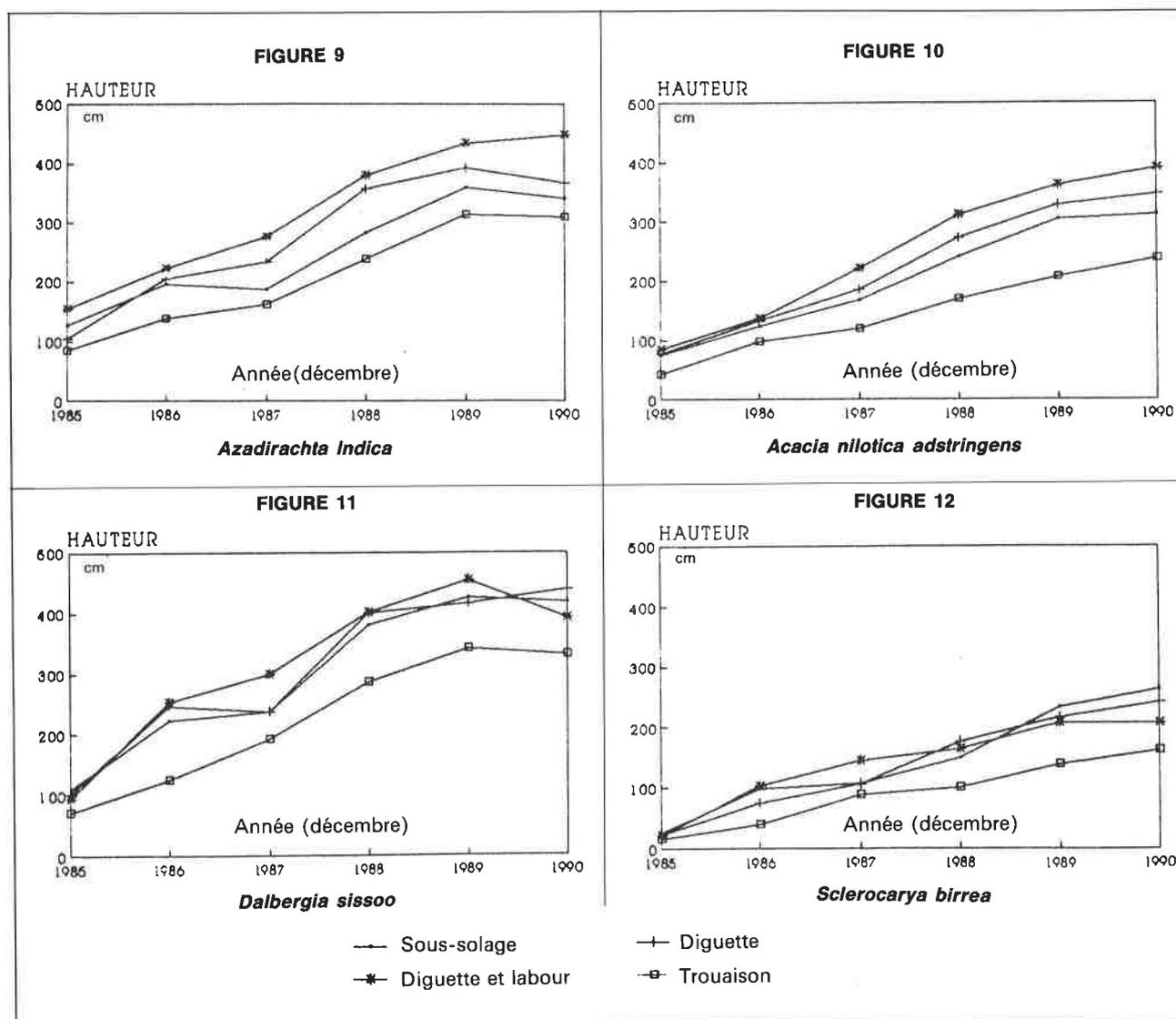
Le taux de survie de cette espèce locale est très bon : 91 %, en 1990 à cinq ans et demi. La croissance en hauteur est lente et linéaire du temps. L'hétérogénéité spatiale (30 % de coefficient de variation sur les hauteurs moyennes) ne permet pas de mettre en évidence de différence entre les différents traitements. Sa production est intéressante (supérieure à 2 m³/ha/an à cinq ans sur parcelles aménagées en diguettes). Cette espèce, résistante au feu, semble bien adaptée aux sols dégradés, compactés, sur lesquels

elle se trouve couramment associée à *Balanites aegyptiaca* et *Lannea humilis*; elle s'y développe d'autant mieux que la zone est aménagée par des techniques de travail du sol.

Remise en culture du terrain après exploitation du boisement

Après dessouchage de la partie exploitée et labour au *cover-crop* en début de saison des pluies, le terrain a été semé en sorgho (variété améliorée : S 35). La production obtenue varie de 300 kg/ha à 1 200 kg/ha, autour d'une moyenne de 660 kg/ha (poids grains). Cependant, ces résultats ne sont pas significatifs par rapport aux traitements. Le sol a repris très vite son aspect lisse et battant.

COURBES DE CROISSANCE PAR TYPE DE TRAVAIL DU SOL



**ESSAI TRAVAIL DU SOL ASSOCIÉ
À LA PLANTATION D'ACACIA SENEGAL
SALAK 86-02**

■ **Méthode d'étude**

Cette parcelle d'étude a été installée en 1986 sur une surface dénudée de 1,28 ha. Les aménagements mis en place visent à améliorer le bilan hydrique au profit des arbres plantés. Il s'agit de techniques de travail du sol réalisables manuellement en milieu paysan (casier de diguettes, fossé rectangulaire, fossé en anneau) associées à la plantation d'*Acacia senegal*.

● **Traitements**

- 1 — **Témoin, trouaison manuelle** : 40 cm × 40 cm × 40 cm trou rebouché au niveau du sol légèrement en creux.
- 2 — **Aménagement en diguette** : trou rebouché en butte de 10 cm de hauteur, construction de diguettes de 15 cm de haut reliant les buttes entre elles et délimitant ainsi des casiers de 4 m de côté.
- 3 — **Fossé en anneau** : trou rebouché en butte, réalisation d'une rigole de 20 cm de profondeur et 20 cm de large, creusée sur un anneau d'environ 1 m de diamètre autour du plant. Du côté aval, la terre est rejetée sur un demi-anneau extérieur au fossé. Sur la partie amont, elle est rejetée sur le trou de plantation pour former une légère butte de 10 cm à 15 cm de haut sur laquelle sera installé le plant.

- 4 — **Fossé rectangulaire** : trou rebouché en butte, creusement d'un fossé à 50 cm du plant du côté amont, de 1,50 m de long, 30 cm de large, 30 cm de profondeur. Rejet de la terre du côté aval, à droite et à gauche de la butte, pour former un ados de 2 m de long parallèle au fossé. Les fossés peuvent être, soit réalisés en saison sèche mais c'est un très dur travail et un ouvrier peut à peine en creuser cinq par jour, soit être approfondis après les premières pluies au fur et à mesure que la terre s'humidifie.

● **Dispositif**

- Carré latin, quatre placeaux par traitement, 5 × 10 = 50 plants par placeau élémentaire à l'espacement de 4 m × 4 m.

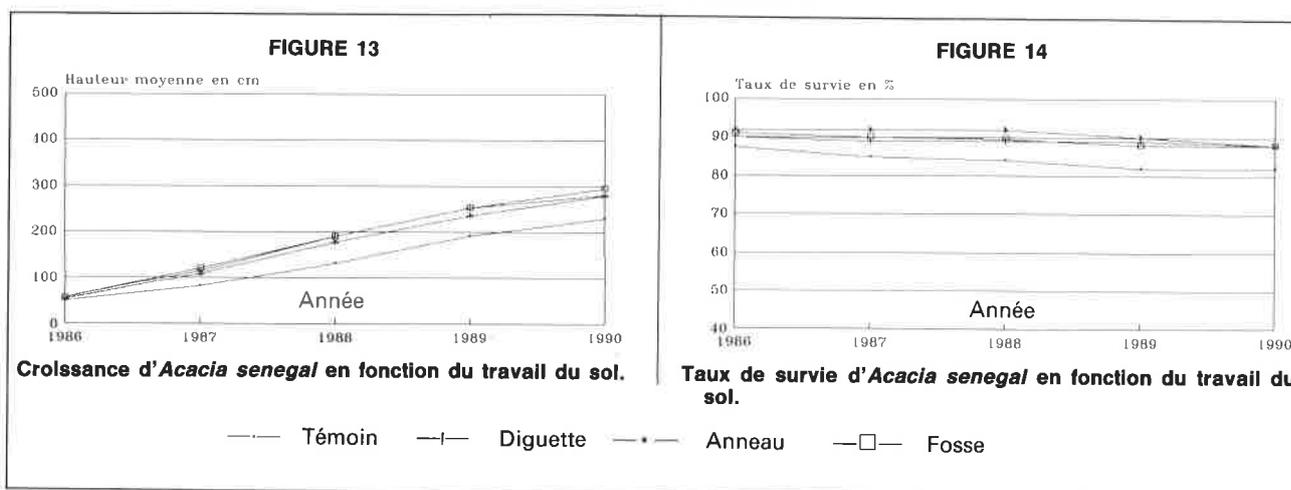
● **Espèce-test : *Acacia senegal*** (provenance locale)

L'intérêt de cette espèce locale est de produire une gomme dure, utilisée dans les industries agro-alimentaires et pharmaceutiques ; son débouché à l'exportation lui confère un intérêt économique de premier plan. Sous réserve d'une production effective de gomme, *Acacia senegal* offre une perspective intéressante de valorisation des sols Hardé. Par ailleurs, cette légumineuse fournit un fourrage aérien apprécié par les petits ruminants ; elle est, en outre, susceptible de contribuer à l'enrichissement du sol.

● **Plantation** : 7 juillet 1986.

● **Protection** : contre le feu et le bétail.

ACACIA SENEGAL-SALAK 86



● Plan de l'essai :

1	2	3	4
2	4	1	3
3	1	4	2
4	3	2	1

● **Mesures** : en décembre de chaque année, on effectue une mesure de hauteur de chaque arbre à l'aide d'une perche graduée tous les 10 cm et on relève également le taux de survie.

■ **Résultats et discussion**

Fig. 13, 14 et tableau IV

Le taux de survie moyen de cette espèce locale est bon, 86 % à quatre ans et demi, avec une baisse maximale de 5 % depuis la fin de la première année de plantation. La croissance est tout a fait acceptable. *Acacia senegal* s'est montré résistant au feu courant qui a traversé la parcelle, le 25 mars 1990, en période de repos végétatif, sans provoquer de mortalité des arbres.

Les dispositifs d'économie de l'eau ont un effet améliorateur de la croissance en hauteur des arbres, et ceci à partir de la deuxième année ; l'écart de 50 cm à 60 cm, qui existe entre le témoin et les autres traitements depuis la deuxième année, se maintient pendant trois ans. A quatre ans et demi, le fossé rectiligne se montre significativement supérieur à l'aménagement en diguettes et au fossé en anneau (aménagement le plus léger qui se comble rapidement).

En outre, l'analyse des données met en évidence une légère hétérogénéité spatiale (cf. tableau V). Il existe un effet « bloc » au niveau des taux de survie de l'espèce.

TABLEAU V

Situation	Blocs	Taux de survie
Partie Nord de l'essai	n°1	93%
	n°2	93%
Partie Sud de l'essai	n°3	80%
	n°4	80%

Le taux de survie plus faible dans la partie sud concorde avec le recouvrement herbacé le plus important de 80 à 90 % ; il s'explique par un engorgement temporaire de cette zone plus basse, entraînant le déchaussement racinaire et la mortalité de certains arbres. Cela confirme le fait qu'*Acacia senegal*, quoique réagissant bien aux apports d'eau qui améliorent sa croissance (effet des traitements précédents), supporte mal les milieux hydromorphes asphyxiants.

La croissance de l'espèce sur sol Hardé aménagé est comparable à celle observée sur vertisol à Mouda (800 mm de pluies) et sur sol ferrugineux dunaire à Mora (650 mm de pluies).

Perspectives envisagées pour cet essai

D'une manière générale, l'aire de répartition d'*Acacia senegal* est comprise entre les isohyètes 250 mm et 800 mm ; quant aux peuplements les plus productifs de gomme, ils se situent sur sols sableux profonds et dans des régions recevant une pluviosité de 300 mm à 450 mm (Sénégal, Mali, Soudan, Tchad). Au Soudan, on rencontre également des peuplements purs d'*Acacia senegal* producteurs de gomme sur des terrains argileux moins filtrants avec 600 mm de pluies (COSSALTER, 1984). En fait, l'exsudation de gomme serait liée à un état de stress hydrique de la plante.

TABLEAU IV

Mensurations des arbres de l'essai Salak 86-02

Dates	Variables	Traitement				Moyenne
		Témoin	Diguettes	Anneaux	Fosses	
Décembre 1989	Hauteur moyenne en cm	180 c	254 a	233 b	254 b	225
	écart/témoin	—	+ 30%	+ 24%	+ 31%	
3,5 ans	taux de survie	82%	89%	90%	88%	87%
Décembre 1990	Hauteur moyenne en cm	230 c	280 b	280 b	295 a	271
	écart/témoin	—	+ 20%	+ 20%	+ 32%	
4,5 ans	taux de survie	82%	88%	88%	88%	86%

Groupes homogènes a, b, c, au seuil de 5 %.

LES TERRES HARDÉ

Dans le cas du Hardé de Salak (800 mm/an), les pertes d'eau dues au ruissellement et à l'évaporation peuvent constituer des conditions hydriques qui s'apparentent à celles observées sur des sols très filtrants dans les zones à plus faible pluviosité. Depuis 1991, les dispositifs d'économie de l'eau de la parcelle ne sont plus entretenus et, par conséquent, ils se combrent progressivement (en deux ou trois années

maximum). On peut alors penser que la sécheresse édaphique de ce type de milieu favorisera le phénomène d'exsudation. Des saignées seront pratiquées sur les arbres à partir de 1993 (septième année du peuplement) afin d'étudier la production de gomme. Déjà, des exsudations de gomme ont été observées en condition naturelle sur *Acacia senegal* dans cette zone (vertisols dégradés à Laf).



Station de Salak, essai 86-02, limite entre le traitement témoin (à droite sur la photo) et le traitement fossés (à gauche), photo prise en juillet 88 deux ans après plantation.



Station de Salak, essai 86-02, limite entre traitement témoin (à droite sur la photo) et traitement fossés (à gauche), photo prise en octobre 90, quatre ans et demi après plantation. La croissance des arbres et la recolonisation du tapis herbacé sont nettement plus rapides sur le traitement fossés.

**Essais de criblage d'espèces
SALAK 85-02**

■ **Méthode d'étude**

Cette parcelle a été mise en place en 1985 avec sous-solage croisé au bulldozer et plantation de 18 espèces locales, 6 espèces exotiques « acclimatées » et 16 espèces exotiques originaires d'Amérique Centrale. Chaque espèce est représentée par une ligne de 20 individus.

■ **Résultats et discussion**

● **Espèces locales** : la croissance en hauteur des acacias est bonne (entre 3 et 4m à six ans et plus de 60 % de taux de survie) avec dans l'ordre : *Acacia dudgeoni*, *Acacia nilotica ssp. adstringens*, *Acacia*

sieberiana, *Acacia nilotica ssp. nilotica* et *Acacia senegal*. Vient ensuite *Khaya senegalensis*; les autres espèces essayées *Faidherbia albida*, *Tamarindus indica*, *Diospyros mespiliformis*, *Ficus sycomorus*, *Ficus platyphylla*, *Celtis integrifolia* et *Balanites aegyptiaca* ont montré un mauvais développement.

● **Espèces exotiques « acclimatées »** : *Eucalyptus camaldulensis* et *Azadirachta indica*, après une bonne croissance, semblent encore vigoureux ; ils ont montré une certaine tolérance au feu. *Dalbergia sissoo* n'est pas adapté à ce sol et dépérit rapidement. *Acacia holosericea* se montre peu longévif et surtout sensible au feu.

● **Espèces introduites d'Amérique Centrale** : seules les espèces *Gliricidia sepium* et *Senna atomaria* ont montré un développement acceptable et comparable aux acacias locaux. *Senna atomaria* a été entièrement brûlé par le feu mais a bien rejeté ensuite à son pied.

ÉTUDE ÉCONOMIQUE
Faisabilité des différents
aménagements de surface

Les différents aménagements ont tous montré une certaine efficacité vis-à-vis de la croissance des espèces ligneuses en plantation. Leur coût de mise en place est présenté dans le tableau VI.

TABLEAU VI

Coût des travaux d'aménagement

Aménagement de surface	Coût du travail du sol (FCFA/ha)	Coût * de la plantation tous les 5 m (400 pieds/ha) (FCFA/ha)	Coût total (FCFA/ha)
Sous-solage croisé au bulldozer à 40 cm de profondeur	150 000 (3 heures/ha)	80 000	230 000
Aménagement en diguettes en casiers de 5 m de côté, fait à la main	80 000 (80 h.j) **	80 000	160 000
Aménagement en diguettes en casiers de 5 m de côté, au tracteur équipé d'une charrue à disques	50 000	80 000	130 000
Fossé rectiligne de 130 l de contenance réalisé à la main	110 000 (110 h.j)	80 000	190 000
Fossé en anneau autour de l'arbre réalisé à la main	50 000 (50 h.j)	80 000	130 000

* La plantation comprend : une trouaison grand potêt (100 FCFA), l'achat d'un plant (70 FCFA), le rebouchage et la plantation (30 FCFA), soit un total de 200 FCFA/plant.

** h.j = hommes x jours.

- **Le sous-solage** avec des moyens lourds est coûteux (150 000 FCFA/ha) et s'avère moyennement efficace ; il n'est pas réalisable en milieu paysan.
- **L'aménagement en diguettes** le plus efficace, que ce soit au niveau du rétablissement du régime hydrique du sol, de la régénération du tapis herbacé et de la croissance des arbres, est réalisable à la main ou bien mécaniquement. La réalisation manuelle des diguettes en régie revient à 80 000 FCFA/ha. L'utilisation d'un tracteur de 80 ch équipé d'une charrue à disques (trois socs) permet de réduire leur coût à 50 000 FCFA/ha. Dans ce cas, le bourrelet est levé par un aller-retour de charrue et la finition effectuée à la main.

Au Nord-Cameroun, il n'a pas été essayé de matériel spécialisé pour la construction de billons qui semble efficace sur vertisols en milieu désertiques (AUDRU, CIRAD-EMVT, Djibouti).

Les diguettes ont pour inconvénient d'être facilement détruites par le ruissellement sauf si tout le bassin versant est aménagé ; aussi leur stabilité n'est-elle jamais obtenue immédiatement. Dans l'essai 85.01, les diguettes ont été détruites en première année par la battance des premières pluies. Elles ont dû être réfectionnées également en deuxième année, puis l'installation du tapis herbacé a permis leur stabilisation.

Depuis longtemps déjà, les agriculteurs utilisent des terres Hardé pour cultiver le muskwari (sorgho de contre-saison) en effectuant un « carroyage » de diguettes ; très souvent ces diguettes sont matérialisées par un premier sillon fait à la charrue en traction animale, puis, progressivement, des bourrelets de terre de 20 cm de haut sont levés à la main.

La densité du maillage augmente chaque année pour une meilleure couverture du sol et une meilleure infiltration de l'eau.

Par ailleurs, la plantation des arbres sur diguettes constitue un référentiel technique intéressant pour l'installation de brise-vent, si la nécessité se présente, dans les zones de cultures de sorgho de contre-saison.

Les fossés rectilignes ou en anneau, localisés à 50 cm de l'arbre planté, sont confectionnés à la main. Les fossés rectilignes plus profonds et plus efficaces que les dispositifs en anneaux coûtent plus cher. Par rapport aux diguettes, ces aménagements qui assurent une aussi bonne croissance des arbres, mais un moindre recouvrement herbacé, présentent l'intérêt d'être réalisables localement sans trop se préoccuper des effets du bassin versant. En cas d'excès de ruissellement venu de l'amont, l'eau des fossés peut déborder sans autre dégât qu'un certain comblement. Aussi, leur entretien est-il nécessaire pendant les premières années.

CONCLUSION

Le sous-solage, les diguettes, les fossés et les anneaux ont permis d'installer un boisement sur des sols où il est pratiquement impossible d'en réussir sans aménagement de surface.

En plus du rétablissement du régime hydrique du sol et de la régénération de la végétation herbacée, une microfaune (termites, insectes) s'installe, ce qui crée une macroporosité et engage le sol dans un « processus dynamique d'amélioration physico-chimique ».

En partant d'un sol nu, improductif, il est possible de reconstituer une savane arborée dont on peut envisager une gestion sylvo-pastorale. L'exploitation de ce milieu fragile devra être raisonnée afin d'éviter un retour rapide vers la dégradation.

Cependant, ces travaux d'aménagement coûtent cher à la mise en place (130 000 à 230 000 FCFA/ha,

cf. tableau VI) ; quant à la production de bois, de 1 à 3 m³/ha/an, elle ne permet pas de rentabiliser ces investissements. On peut seulement imaginer que des paysans en manque de bois puissent aménager ces terres improductives en réalisant ces travaux (diguettes ou fossés) à « temps perdu », donc à des coûts marginaux.

On peut penser également, si le besoin se fait sentir, que l'état subventionne la mise en place de ces aménagements au bénéfice des communautés qui auraient choisi de mettre en valeur les sols Hardé par des reboisements.

Enfin, certains casiers de diguettes, réalisés au préalable pour la culture de « muskwari » (sorgho de contre-saison) et en voie d'abandon, pourraient être réhabilités, puis valorisés par des plantations d'arbres. Sur sol Hardé aménagé, sous 800 mm de pluie annuelle, on peut envisager, avec *Eucalyptus camaldulensis*

sis et *Azadirachta indica* (neem), une modeste production de perches et, avec *Acacia nilotica* et *Sclerocarya birrea*, une production de bois de feu. Enfin, la plantation d'*Acacia senegal* associée à des dispositifs d'économie de l'eau est une réussite et offre, sous réserve d'une production effective de gomme, une perspective intéressante de valorisation des sols Hardé dans la région de Maroua.

Si la production de gomme est prouvée au cours des prochaines années, on pourra proposer aux agriculteurs de mettre en place sur des zones dégradées « Hardé à muskwari » une véritable jachère à *Acacia senegal*. Cette pratique est connue au Soudan sur sol sableux, où elle a fait preuve de son efficacité. Reste à prouver son applicabilité au Nord-Cameroun, en utilisant les techniques testées par l'IRA.

Cependant, il apparaît déjà impossible de ne traiter que quelques hectares au milieu d'une zone cultivée car ce massif constituerait alors un perchoir à oiseau « mange-mil », susceptibles de détruire le sorgho muskwari des champs voisins. Il faudrait donc envisager l'aménagement de zones de plusieurs dizaines d'hectares, éventuellement communes à plusieurs villages, en associant le pâturage pendant les premières années de plantation. ■

Jean-Michel HARMAND
Institut de la Recherche Agronomique
Antenne de Maroua
BP 222
Maroua (Cameroun)

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- COSSALTER (C.), 1984. — Projet de recherche sur les gommiers pour une relance de la production de gomme végétale au Mali, CTFT, 109 p.
- DELWAILLE (J.-C.), 1978-1979. — Plantations forestières en Afrique tropicale sèche, Techniques et espèces à utiliser. Bois et Forêts des Tropiques, n^{os} 180-181.
- DONFACK (P.) et FLORET (C.), 1993. — Régénération de la végétation spontanée d'un sol Hardé. CIRAD-Forêt, Cahier Scientifique n° 11, pp. 71-79.
- EYOG MATIG (O.), 1993. — Modification du régime hydrique d'un sol par les aménagements de surface. CIRAD-Forêt, Cahier Scientifique n° 11, pp. 99-110.
- EYOG MATIG (O.), 1993. — L'enracinement de quatre espèces ligneuses sur sol Hardé. CIRAD-Forêt, Cahier Scientifique n° 11, pp. 111-118.
- GUIS (R.), 1976. — Un bilan des travaux visant à la mise en culture des sols Hardé du Nord-Cameroun. Agronomie tropicale, vol XXXI, n° 2, 141 p.
- HARMAND (J.-M.), 1989. — Résultats des essais sylvicoles de l'Antenne du Centre de Recherches Forestières de Maroua, 166 p.
- HUMBEL (F.-X.), 1965. — Etude de sols halomorphes du Nord-Cameroun, Transformation des Hardé par sous-solage et culture du cotonnier. ORSTOM, Yaoundé
- PELTIER (R.), 1988. — Résultats des essais sylvicoles de l'Antenne du Centre de Recherches Forestières de Maroua, 241 p.
- PELTIER (R.) et EYOG MATIG (O.), 1988. — Les essais d'agroforesterie au Nord-Cameroun. Bois et Forêts des Tropiques, n° 217, pp. 3-31
- VAILLE (J.), 1970. — Essais de mise en valeur des sols Hardé du Nord-Cameroun. Agronomie tropicale, vol XXV, n° 5, 473 p.