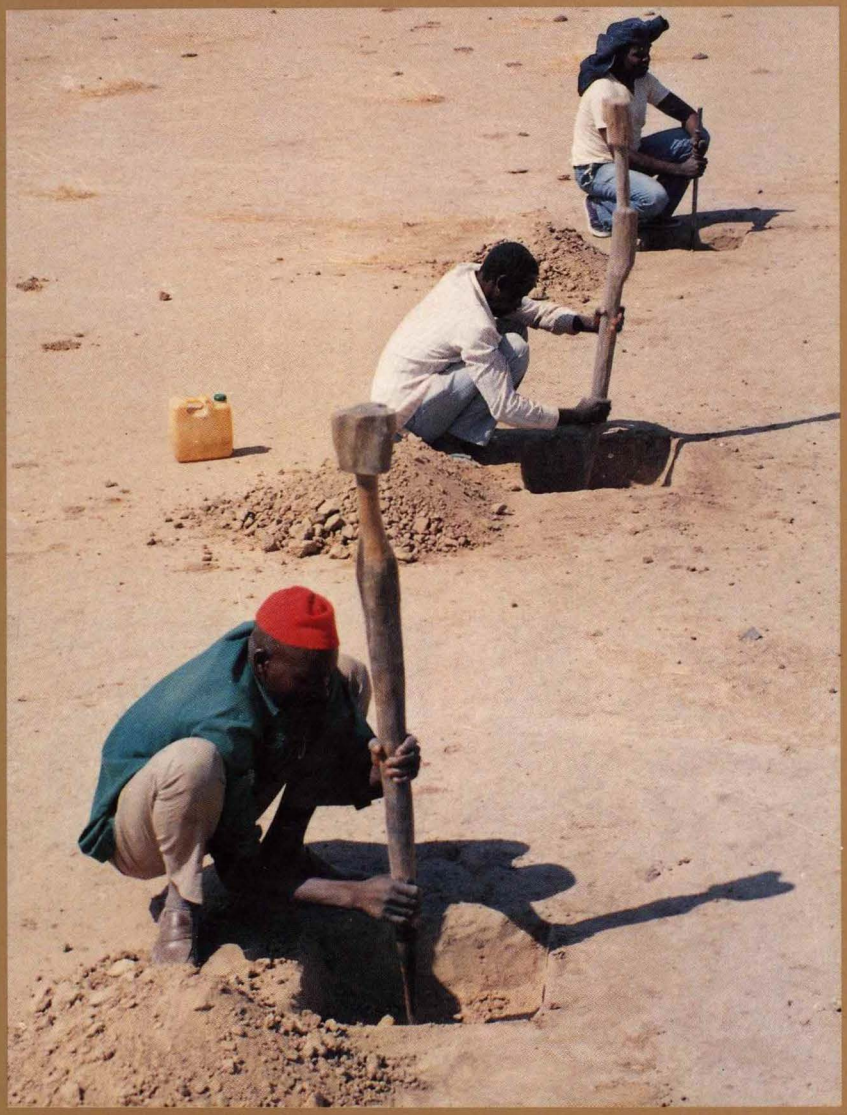
CAHIERS SCIENTIFIQUES N° 11
Supplément de Bois et Forêts des Tropiques
MÉMOIRES ET TRAVAUX DE L'IRA N° 6

LES TERRES HARDÉ

CARACTÉRISATION ET RÉHABILITATION DANS LE BASSIN DU LAC TCHAD



ORSTOM

CIRAD

CAHIERS SCIENTIFIQUES N° 11
MÉMOIRES ET TRAVAUX DE L'IRA N° 6

LES TERRES HARDÉ

Supplément de « **BOIS ET FORÊTS DES TROPIQUES** »

publié sous les auspices du CIRAD-Forêt avec le concours de l'Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM) et de l'Institut de Recherche Agronomique du Cameroun (IRA).

La publication de ce document a été partiellement financée par l'A.T.P. CIRAD n° 13/90 : « Évaluation multidisciplinaire de techniques agroforestières ».

CIRAD-Dist
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE
BAILLARGUET

CIRAD-Forêt

45 bis, avenue de la Belle Gabrielle
94736 Nogent-sur-Marne Cedex (France)
Tél. : (1) 43 94 43 00 - Télécopie : (1) 43 94 43 29 - Télex : CETE FO 264 653 F

000003253

PRÉFACE

Dans la région de Maroua, au nord du Cameroun, les roches cristallines des monts Mandara dominent de plus de 1 000 m l'immense dépression argileuse du bassin du lac Tchad.

Située à un carrefour historique de l'Afrique Centrale, cette région jouit d'une diversité écologique, ethnique et socio-économique, représentative d'une grande partie de la zone climatique nord-soudanienne et sud-sahélienne. C'est pourquoi elle a fait l'objet d'un intérêt particulier des organismes de recherche depuis plusieurs décennies.

A partir des années 80, à l'initiative du gouvernement camerounais, s'est constituée une forte équipe multidisciplinaire à laquelle ont participé des organismes internationaux comme le CIRAD, l'ORSTOM... Constituée d'ethnologues, de sociologues, d'économistes, de pédologues, d'écologues, d'agronomes, de pastoralistes et de forestiers, cette équipe a l'ambition d'améliorer la production et la durabilité des principaux agrosystèmes de la région. Elle a reçu pour cela, depuis 1988, un appui technique et financier de la coopération française, dans le cadre du projet Garoua.

J'ai demandé aux chercheurs de valoriser les importants résultats déjà acquis, de regrouper, aussi souvent que possible, des articles sur un sujet fédérateur d'intérêt régional pouvant déboucher sur des propositions de développement, utilisables par les populations.

C'est ainsi que Régis PELTIER, Chef du Programme Agroforesterie et Conservation des Eaux et du Sol au CIRAD-Forêt, qui avait eu l'initiative de différents travaux sur l'étude et la réhabilitation des sols dégradés du Nord-Cameroun, a bien voulu être l'éditeur scientifique d'un premier ouvrage sur le thème des terres Hardé.

J'espère que ce terme, encore inconnu de la plupart des lecteurs, leur deviendra familier, après la lecture de ce très riche ouvrage, et que celui-ci ouvrira des perspectives intéressantes de recherche et de développement.

Qu'il me soit permis, pour terminer, de féliciter toute l'équipe des chercheurs IRA, CIRAD et ORSTOM qui ont participé à ce travail et, en particulier, ceux qui ont guidé cette équipe, à savoir Zaché BOLI, chef du Centre de Recherche Agronomique de Maroua, de 1982 à 1992, et René BILLAZ, conseiller scientifique du projet Garoua de 1988 à 1991.

Dr. J.A. AYUK-TAKEM
Ministre de la Recherche Scientifique et Technique
et Directeur de l'IRA

NOTE
DE L'ÉDITEUR SCIENTIFIQUE

Le mot **Hardé** * désigne, en Fulfuldé, la langue véhiculaire du Nord-Cameroun, les sols à végétation ligneuse pauvre et à couverture herbacée saisonnière et peu dense, voire parfois inexistante.

Ces sols présentent un intérêt tout particulier ; en effet, de mauvaises pratiques culturales ou pastorales extensives les dégradent très facilement et les transforment en une sorte de désert inutile et même néfaste, car l'eau de pluie y ruisselle fortement en causant de violentes inondations en aval ; en revanche, certaines communautés villageoises, dans des zones où la pression démographique augmente, ont mis au point un système agro-pastoral plus intensif qui permet leur régénération et leur mise en valeur. Pour cela, elles ont inventé tout un « itinéraire technique » incluant l'installation de dispositifs anti-érosifs et d'économie de l'eau (réseau de diguettes), ainsi que la création d'une rotation originale comprenant un pâturage amélioré de saison des pluies et la culture de plusieurs variétés de sorghos repiqués en début de saison sèche. Pour que le système fonctionne, il a fallu que les agriculteurs et les éleveurs de plusieurs villages s'entendent pour discipliner les cultures et le pâturage sur des zones communes à plusieurs terroirs. En effet, l'indiscipline d'un seul d'entre eux pourrait condamner le système : un troupeau non gardé pourrait causer la destruction des plants de sorgho, un champ non aménagé en diguettes serait à l'origine d'un ruissellement qui balaierait les ouvrages à l'aval, une parcelle non défrichée servirait d'abri à de nombreux rongeurs et oiseaux susceptibles de détruire les récoltes.

Poussés par la nécessité, les paysans de cette région ont donc réussi à redonner vie à des terres qu'ils avaient eux-mêmes dégradées, en combinant l'amélioration du travail du sol, des rotations, du matériel végétal et en réussissant l'intégration agriculture-élevage, toute chose que les « chercheurs » et les « développeurs » arrivent rarement à faire. L'étude de ces agrosystèmes est donc pleine d'enseignement **.

Les scientifiques travaillant au Nord-Cameroun ne s'y sont pas trompés puisqu'ils ont longuement étudié ces pratiques en milieu rural et qu'ils les ont reproduites en station, de façon à les « décortiquer » plus précisément.

Mais tout système, aussi intéressant soit-il, est perfectible. Par exemple, il apparaît clairement que de nombreux terroirs incluant des sols Hardé sont pratiquement dépourvus d'arbres, ce qui entraîne un manque de bois, de fruits et de très nombreux autres produits. Les agroforestiers ont voulu déterminer si l'utilisation de certains ligneux pouvait être envisagée pour valoriser ou régénérer des sols marginaux ou trop dégradés.

Il reste encore beaucoup à faire pour mieux comprendre la gestion des sols Hardé et pour proposer aux paysans qui les mettent en valeur des innovations capables d'améliorer réellement la productivité et la durabilité du système. Cependant, il nous a semblé intéressant de tirer, d'ores et déjà, un bilan des travaux en cours qui aidera les scientifiques à mieux identifier les forces et les faiblesses de leur équipe pluridisciplinaire et à jeter les bases des études futures.

---

* Dans leurs articles, certains auteurs ont écrit ce mot avec une majuscule ou non, avec ou sans (s) au pluriel, entre parenthèses, en italique, ... Nous leur avons laissé la liberté. Mais dans les titres, les résumés, les parties rédigées par la rédaction, nous parlerons uniquement de sols Hardé ou de terres Hardé, le mot étant invariable, prenant une majuscule, sans parenthèse, ni italique.

** On trouve, d'ailleurs, au Nord-Cameroun d'autres cas de figures très instructifs, comme la mise en valeur des monts Mandara par un système agroforestier incluant la construction de murettes en pierres. Dans les plaines et les piémonts, la gestion du parc arboré où domine *Faidherbia albida* est également intéressante. Ces sujets pourront faire l'objet de prochains recueils d'articles.

Pour ce faire, nous avons demandé :

- à l'ethno-sociologue, de définir ce que signifiait pour les populations le mot Hardé (désigne-t-il vraiment des terres inutiles, pourquoi les garder incultes puisque certaines semblent pouvoir être régénérées ?) ;
- au spécialiste télédétection, d'en estimer la surface ;
- à l'écologue, d'étudier leur végétation ;
- au pédologue, de les caractériser ;
- à l'hydrologue, de préciser quelle pouvait être leur contribution au régime des cours d'eau ;
- à tous ceux qui avaient essayé de les révégétaliser, d'exposer leurs résultats ;
- et enfin, au conseiller scientifique du projet Garoua de nous dire, au-delà des résultats présents, quelles « pistes » ces travaux pouvaient ouvrir sur l'avenir, non seulement pour la régénération des terres Hardé qui, malgré leur aspect spectaculairement désolé, ne sont pas le plus grand problème de cette région, mais pour la régénération d'autres types de sols dégradés et pour le maintien ultérieur de leur fertilité.

Malheureusement, certains aspects pourtant essentiels n'ont pas pu être abordés par manque de spécialistes ; c'est le cas pour la contribution de la faune du sol à la dégradation ou à la régénération des sols Hardé, en fonction des techniques paysannes ou utilisées par la recherche, tant il est vrai que les termites, par exemple, constituent le pire destructeur de litière mais le meilleur outil pour recréer la porosité d'un sol et en mélanger les horizons. Dans des travaux futurs, ce suivi de la faune du sol devra être lié à la gestion de la flore qui lui sert de nourriture.

Pour ce qui concerne la forme, nous avons souhaité que chaque article constitue un tout en soi, de façon à pouvoir faire l'objet d'une lecture séparée et de « tirés-à-part ». C'est pourquoi il n'a pas été possible d'éviter un certain nombre de répétitions en début d'article, concernant des généralités.

Par ailleurs, nous avons laissé à chaque auteur, une fois le sujet défini, une assez grande liberté d'écriture et de présentation.

En effet, nous avons voulu garder toute leur richesse à des articles écrits par des spécialistes de disciplines très variées.

Pour permettre à un lecteur pressé d'extraire la « substantifique moelle » de ces textes,nous avons pris l'initiative de rédiger de longs résumés, en espérant ne pas avoir trahi les auteurs. Ces résumés seront prochainement rassemblés avec quelques tableaux et graphiques dans un article d'une revue internationale, qui constituera un synopsis du document.

Que soient ici remerciés : R. PONTANIER pour la relecture en détail des textes et leurs annotations, Dr. C. F. NJITI, pour la traduction des résumés en anglais et J. FRESNEAU, pour la mise en forme de l'ensemble.

Bonne lecture.

Régis PELTIER

LES TERRES HARDÉ

PREMIÈRE PARTIE : CARACTÉRISATION

9

HARDÉ ET KARAL DU NORD-CAMEROUN

Leur perception par les populations agropastorales du Diamaré

par Christian SEIGNOBOS, géographe, ORSTOM, Maroua

29

EVALUATION DES ETATS DE SURFACE À PARTIR D'IMAGES SPOT

Le cas des sols dénudés de la région de Maroua

par Christine TRIBOULET, télédétection, ORSTOM, Bondy

37

HYDRODYNAMIQUE D'UN SOL HARDÉ DU NORD-CAMEROUN

Caractéristiques et comportement

par Lamine SEINY-BOUKAR, pédologue, IRA, Maroua
et Roger PONTANIER, pédologue, ORSTOM, Tunis

45

HYDROLOGIE D'UN MICROBASSIN VERSANT OÙ DOMINENT LES SOLS HARDÉ

par Bernard THÉBÉ, hydrologue, ORSTOM, Montpelllier

55

DYNAMIQUE SAISONNIÈRE DE LA VÉGÉTATION EN SAVANE SAHÉLO-SOUDANIENNE

Le cas des sols Hardé

par Josianne SEGHIERI, écologue, ORSTOM, Niamey et
Christian FLORET, écologue, ORSTOM, Dakar

DEUXIÈME PARTIE : RÉHABILITATION

65

RÉHABILITATION D'UN SOL HARDÉ D'ORIGINE VERTISOLIQUE

par Paul DONFACK, phytoécologue, IRA, Maroua,
Dominique MASSE, agropédologue, ORSTOM, Dakar
et Lamine SEINY-BOUKAR, pédologue, IRA, Maroua

71

RÉGÉNÉRATION DE LA VÉGÉTATION SPONTANÉE D'UN SOL HARDÉ

Effet des techniques d'économie de l'eau et du travail du sol

par Paul DONFACK, phytoécologue, IRA, Maroua et
Christian FLORET, écologue, ORSTOM, Dakar

81

REBOISEMENT D'UN SOL HARDÉ

Effet des techniques d'aménagement de surface

par Jean-Michel HARMAND, ingénieur de recherche, CIRAD-Forêt, et détaché à l'IRA, Maroua

99

MODIFICATION DU RÉGIME HYDRIQUE D'UN SOL PAR LES AMÉNAGEMENTS DE SURFACE

Le cas du sol Hardé de Salak

par Oscar EYOG MATIG, pédologue et écophysiologiste, IRA, Garoua

111

L'ENRACINEMENT DE QUATRE ESPÈCES LIGNEUSES SUR SOL HARDÉ

Influence des techniques de plantation et d'économie de l'eau

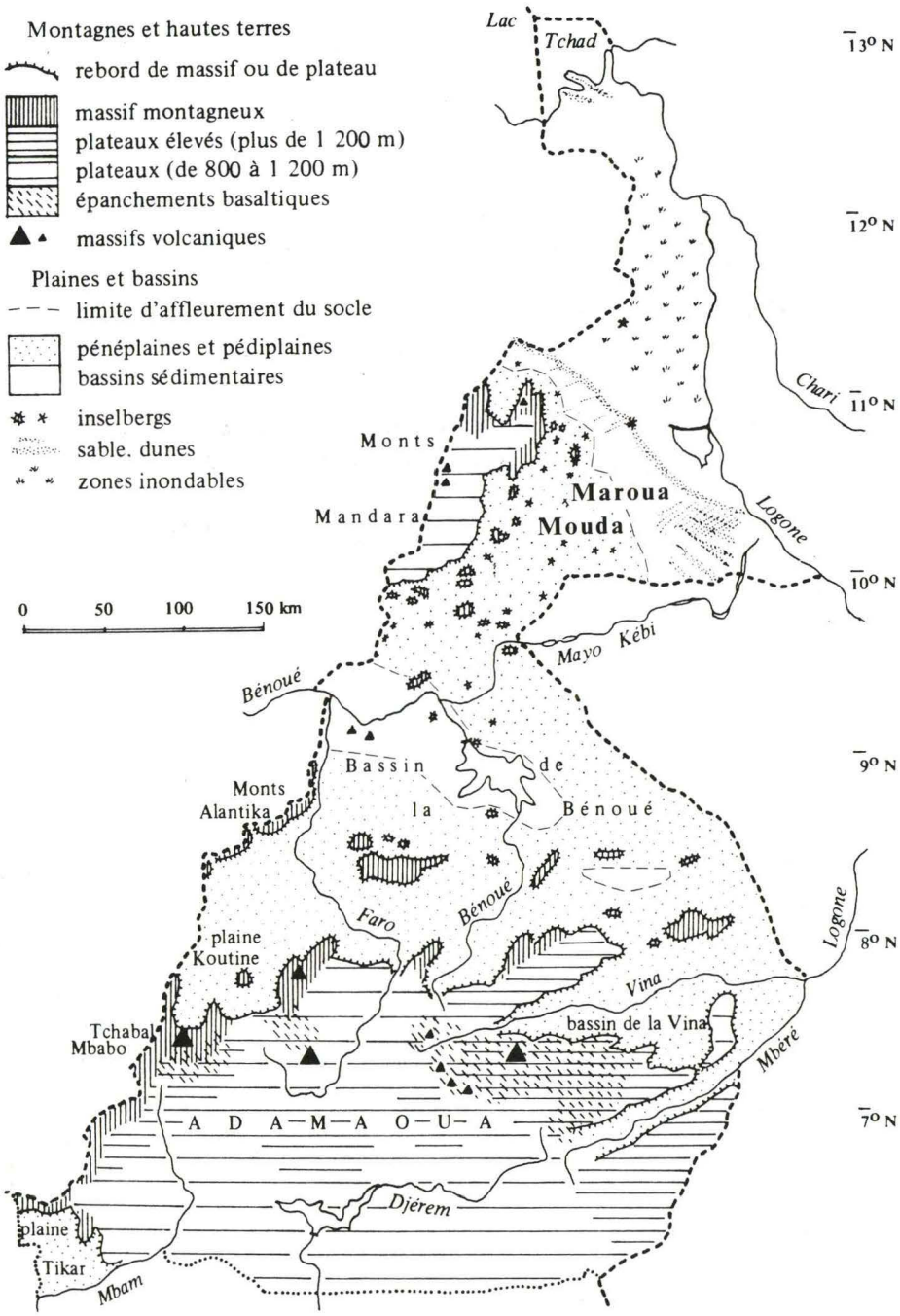
par Oscar EYOG MATIG, pédologue et écophysiologiste, IRA, Garoua

119

LES RECHERCHES SUR LES TERRES HARDÉ

Bilan et perspectives

par René BILLAZ, agronome et ancien conseiller scientifique du projet Garoua, I.I.C.A., Brasilia



Nord-Cameroun : Localisation des principaux sites de recherche

Doc. ROUPSARD, 87.

HARDÉ ET KARAL DU NORD-CAMEROUN

Leur perception par les populations agropastorales du Diamaré

par Christian SEIGNOBOS, géographe, ORSTOM

Vaste plateau de sol Hardé aménagé par plusieurs villages voisins, pour la culture du sorgho de contre-saison.

RÉSUMÉ

Dans la langue des Peuls du Nord-Cameroun, le mot Hardé désigne les sols couverts par une végétation ligneuse indigente et par une couverture herbacée saisonnière. Ceux-ci correspondent, en gros, d'après les pédologues, aux sols halomorphes, lessivés, planiques ou hydromorphes.

Les populations distinguent plusieurs sortes de sols Hardé en fonction de la possibilité ou non de les mettre en culture, de leur couleur (blanc, rouge, noir), de leur salinité et de leur place dans la toposéquence (souvent en haut de la série des sols vertiques).

Autrefois utilisés uniquement par l'élevage, ils sont peu à peu mis en valeur par la culture de *Sorghum durra*, sorgho repiqué de saison sèche.

Cette culture, adaptée aux sols lourds, fut certainement introduite au XIXe siècle au Nord-Cameroun mais s'étendit considérablement, à partir de 1950, en raison de l'utilisation par le coton des sols légers autrefois réservés au vivrier. Lorsque tous les vertisols furent utilisés, elle fut étendue aux sols Hardé. La mise en valeur de ceux-ci doit forcément être collective au niveau d'un ou de plusieurs terroirs villageois, vu qu'elle impose une modification des habitudes de pâturage et qu' un champ isolé en brousse serait pillé par les oiseaux. Elle nécessite, en général, la mise en place d'un réseau de diguettes, souvent assez lâche au départ, mais dont la maille est progressivement subdivisée. Cette technique bloque le ruissellement de l'eau de pluie et l'oblige à s'infiltrer dans des sols naturellement peu perméables, ce qui entraîne un développement de graminées au cours de la saison des pluies. Les agriculteurs gèrent avec soin cette biomasse de façon à en faciliter la fauche et la mise à feu en début de saison sèche avant le repiquage du sorgho. Les diguettes modifient la composition floristique (disparition d'adventices parasites comme *Striga hermontheca*) et les agriculteurs l'enrichissent parfois en espèces faciles à faucher et à brûler comme *Loudetia togoensis*.

Cependant, les Hardé conservent encore d'autres utilisations que celle du sorgho. Ils servent de lieu de cueillette, en particulier les années de disette, pour divers fruits, fleurs, feuilles et tubercules, et on y récolte le bois. Le gibier, autrefois attiré par le sel, est devenu très rare, et la capture des grenouilles pour l'extraction de matière grasse est aujourd'hui négligée.

Au contraire, l'utilisation des Hardé comme pâturage reste vitale pour l'élevage, en particulier durant la saison des pluies, lorsque les bas-fonds sont inondés et les sols légers mis en culture. En bordure de village, ils servent pour parquer, regrouper et trier le bétail.

ABSTRACT

In the native tongue of the Peuls of Northern Cameroon, the word Hardé refers to soils with a poor woody vegetation and a seasonal herbaceous cover. These roughly correspond, according to soil scientists, to halomorphic, washed away, planic or hydromorphic soils.

The people distinguish several types of Hardé soils based on the possibilities or not of cultivating, colour (white, red, black), degree of salinity and place on the relief (often above the vertic series of soils).

Used at one time for nothing but grazing, these soils are now being gradually used for growing *Sorghum durra*, the transplanted dry season Sorghum.

This crop which is adapted to heavy soils was certainly introduced into North Cameroon in the XIXth century, but considerably extended its limits from 1950 due to the growing of cotton on lighter soils which had up till then been reserved for food crop cultivation. The crop extended to Hardé soils after all the vertisols had been occupied. The use of these soils must necessarily be collective at the level of one or many village communities. This imposes a change of grazing habits on the farmers because any isolated field located inside a bush will have its sorghum crop destroyed by birds. It also generally requires the installation of a network of dykes, often loose initially but the mesh of which is progressively subdivided. This technique stops rain water runoff and forces water to infiltrate soils which are naturally less permeable. This brings about a development of herbaceous vegetation during the rainy season. Farmers manage this biomass carefully so as to facilitate its clearing and burning at the beginning of the dry season, before the transplanting of sorghum. Dykes modify the floristic composition (disappearance of parasitic weeds such as *Striga hermontheca*) and farmers sometimes use these to benefit species which are easy to clear and burn such as *Loudetia togoensis*.

However, Hardé lands have other uses than sorghum cropping. They serve as places for harvesting, especially during years of scarcity, of fruits, flowers, leaves, tubers, and of course wood. Game which used to be attracted to these lands by the presence of salt is now very rare, and the harvesting of frogs for the extraction of fats is negligible nowadays.

On the contrary, the use of Hardé lands for grazing remains a vital function for livestock, especially during the rainy season, when bottom lands are flooded and lighter soils have been cultivated. Near the villages, these lands serve for keeping, regrouping and selecting cattle.

Harde (pl. karDe, kardiiji) en fulfulde est issu de la même racine que karal (pl. kare). Il s'agit pour les Foulbés de sols caractérisés par une végétation ligneuse indigente, accompagnée, pour les harde, d'une couverture herbacée saisonnière peu dense. Ces zones furent considérées par les éleveurs peuls comme des supports à pâturage. Aussi ces termes connotaient-ils premièrement des associations végétales. Ils ne connurent qu'une utilisation marginale avant l'introduction des muskuwaari (*Sorghum durra* ou *durra caudatum*), sorghos repiqués désaisonnés élisant les zones de karal, qui sont alors devenues un enjeu agronomique majeur dans le Nord-Cameroun. Il s'ensuivit, dans les années 50 et 60, une course aux karal (1). Aujourd'hui, elle est souvent en voie d'achèvement, notamment dans la région de Maroua. Cette demande de karal s'accentuant sous l'action d'un faisceau de contraintes, des zones d'aptitude agricole médiocre ou nulle, les harde, furent à leur tour sollicitées et se trouvèrent peu à peu converties en karal-harde. Les harde incultes continuent à avoir une vocation de pâturages ou d'espace pour la circulation du bétail. Leur intérêt va grandissant car il est directement lié aux disponibilités des aires de brousse encore libres.

Ndlr. Les lettres majuscules dans les mots correspondent à des sons différents des mêmes lettres en minuscules. Selon les conventions des linguistes, ils sont habituellement représentés par des signes qui n'existent malheureusement pas sur le logiciel de traitement de texte utilisé ici. Par ailleurs, l'auteur utilise l'orthographe des linguistes pour certains mots qui sont passés dans l'écriture courante sous une forme simplifiée. Par exemple : *muskuwaari* est connu par les agronomes selon l'orthographe *muskwari* ou *mouskouari*.

KARAL et HARDE

LES DIFFÉRENTES CATÉGORIES DE KARAL ET DE HARDE

Il est difficile de séparer les karal des harde tant les populations locales les associent dans leurs agrosystèmes. La seule valorisation actuelle des harde les place *de facto* dans la série des karal en tant que pourvoyeurs des mêmes muskuwaari. De plus, les karal sont susceptibles de subir une évolution vers le harde, qui n'interdit pas forcément leur mise en valeur mais en modifie le mode d'exploitation. Cette forme de dégradation intéresse certains vertisols, des planosols et des sols lessivés mais les populations locales, au vu des priorités de leurs agrosystèmes actuels, l'associent plus spontanément aux premiers.

Les karal sont décrits comme champs de culture, c'est-à-dire que la végétation originelle est abordée indépendamment et n'intègre pas la description. Cette végétation est néanmoins bien connue. Les informateurs, toutefois, donnent plus de précisions sur les plantes remarquables par leur dominance ou leur absence que sur les associations végétales ligneuses ou herbacées.

Les critères discriminants passent par l'aspect du karal pendant la saison des pluies : « glissant », « on s'y enfonce ou pas » ..., ce qui induit une description de la circulation de l'eau : elle « passe » sur le karal, « s'y enfonce », « lentement » ou « rapidement » ...

La couleur de la terre est indiquée seulement si elle est pertinente. La présence de fentes, Boli (sing. Bollol), est essentielle : on fait mention de leur profondeur et parfois des dessins qu'elles forment. Les microreliefs sont également décrits.

Les autres critères sont associés à la mise en culture : comment se débarrasser de l'herbe ? par le feu ? avec quel instrument ? la mise en culture du karal impose-t-elle ou non un sarclage ? L'intérêt ou non de diguettes, leur densité, l'existence de cupules retenant l'eau sont parmi les points les plus développés. La dépense d'énergie à fournir pour faire le trou avec le plantoir, *goforiiwal*, est toujours précisée (nombre de coups et profondeur). Celle-ci est d'ailleurs souvent reliée à la présence et à la nature des fentes, car plus elles sont profondes et plus il faudra enfoncer le pieu. Enfin, les variétés de muskuwaari qui répondent le mieux à la nature du karal sont indiquées.

Nous avons inventorié une douzaine de types de karal (2). Certaines appellations restent constantes, recouvrant un sens précis; d'autres, en revanche, sont plus floues et s'appliquent à des situations mixtes (3).

Une série pourrait qualifier des vertisols typiques tels que mbuluuwol, saDoore et saDo Bale :

■ Les mbuluuwol (pl. mbuluuji)

Appelés aussi karal loope, karal Baleewal, ils correspondraient plutôt à un terme générique. Le meilleur mbuluuwol est le Baleewal, c'est-à-dire le sol noir. La couverture herbacée est dominée par pagguri (4), naDDere, wutalde, kayaari, à Fadere, Dargala et Balaza Lamido. Pendant la saison des pluies, les chevaux s'enfoncent dans mbuluuwol. Les éléments superficiels sont fins. Les fentes de retrait peuvent être réduites et peu profondes ou, au contraire, de 30 cm de profondeur et plus (à Wuro Zangi).

Le mbuluuwol est présenté comme le « karal booDngal », le karal par excellence. La présence de fentes impose d'enfoncer profondément le plantoir, un hapakannde (5) à Julguf, Matfay et Wuro Zangi, parfois deux comme à Mindif.

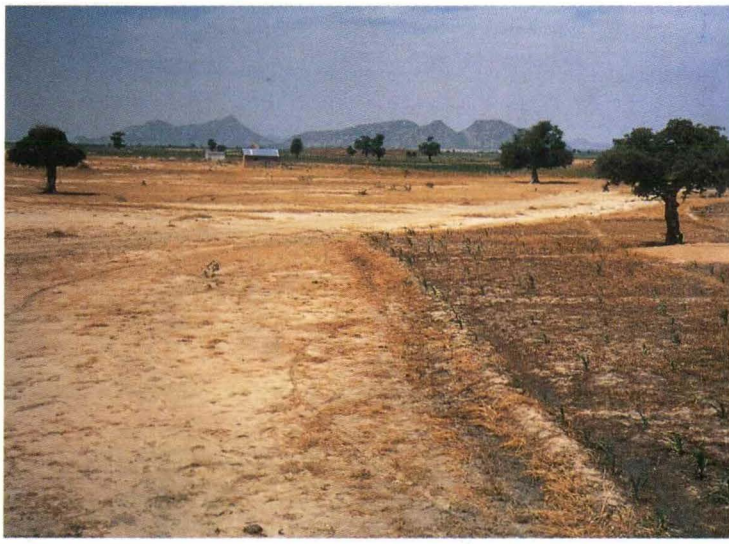
Les ressortissants de Sedek connaissent une situation particulière du fait des défluviations du mayo Bula, qui dépose des éléments fins. Ils désignent leur mbuluuwol comme maaroogaawal (noir, Balewa et danewa, blanc).

Il existe un mbuluuwol wurundeewol (pleuropneumonie des bovins) qui signale un Baleewal (dégradé), sans fentes de retrait. On doit, pour le maintenir en culture, construire des diguettes.

■ Le saDoore (pl. saDooje)

Il se situe souvent en limite du mbuluuwol. Il tire son nom d'herbes prospérant dans les zones humides, voire dans les marécages. Il s'agit de graminées pérennes présentant de forts plateaux de racines, Daye, qu'il faut parfois dessoucher (*Brachiaria jubata*), sadornde (*Vetiveria nigritana*), siyuko (*Loudetia simplex*), muldufre (*Hyparrhenia sp.*) dans la région de Fadere et Balda.

Le saDoowal reçoit une forte humectation en profondeur et la conserve durant toute la saison sèche. Sa couleur n'est « ni blanche, ni rouge, ni noire » ; pour d'autres, « elle tend vers le rouge » . On n'observe pas de fentes de retrait mais, comme sur mbuluuwol, il peut y avoir des successions de bosses et de creux, ce qui est toujours bon signe pour la culture du muskuwaari . Les diguettes sont inconnues ; elles s'écrouleraient ou créeraient une trop forte humidité préjudiciable aux muskuwaari (6). Le trou pour repiquer est peu profond, moins d'un hapakannde, parfois un yeftaare seulement (un peu plus par manque de pluie). Sur ce type de karal, les racines du muskuwaari peuvent être apparentes.



Environs de Maroua mois d'octobre, karal hardé : à l'intérieur des « casiers » limités par des diguettes, les agriculteurs viennent de faucher les graminées et, après les avoir brûlées, ont repiqué le sorgho muskuwaari. Noter qu'en dehors des casiers, la végétation est très clairsemée du fait de l'aridité édaphique. Les zones vertes, en arrière-plan, sont également des champs de muskuwaari.

■ SaDo Bale

Il est, comme son nom l'indique, un karal intermédiaire entre saDoore et Baleewal. A Dargala, il se rapproche d'un mbuluuwol car sa couche superficielle est sombre mais son aspect est moins pulvérulent, plus grossier. L'horizon suivant est moins compact et plus clair. Etant donné l'absence de fentes de retrait, le trou est peu profond.

Un certain nombre de karal sont liés à la proximité de l'eau :

■ Karal mayo (ou karal daande mayo)

C'est un karal de bord de rivière qui présente souvent une couche superficielle sableuse fine (maarooga) avant d'atteindre le niveau argileux . On doit parfois creuser des entonnoirs dans cet horizon de surface pour repiquer profondément. Un hapakannde et un doigt, soit plus de 30 cm, est d'usage courant. Certains karal mayo, comme à Julguf, se rapprochent des saDoore.

■ Karal rufiirdeewal

Appelés aussi karal garaji (par suite d'un dépôt que peut laisser l'eau sous forme de croûte craquelée sombre) ou encore ildugol (pl. ildukon) pour les rigoles ou déversoirs, ils désignent des lieux envahis très diversement par l'eau, qui peut aussi opérer par écoulement souterrain. Les informateurs se plaignent de la raréfaction de ce type de karal (à Dumru, à Mindif...).Le muskuwaari est repiqué à des profondeurs variables, selon que l'on est ou non en présence d'une laisse de décrue. A Fadere, un enfoncement du plantoir de 3/4 d'hapakannde est suffisant ; un enfoncement supérieur entraînerait une mauvaise venue du muskuwaari. Ces deux karal ne sont pas réservés aux seuls muskuwaari ; on peut y cultiver d'autres sorghos et y pratiquer une double culture.

■ Karal weendu (mare) ou karal luggeerewal

Naanaare (*Oryza barthii*), kayaari (*Echinochloa obtusifolia*) et naDDere, qui marquent ce type de karal, peuvent être brûlés avec l'aide de muuBaraawal ou selBo (*Loudetia togoensis*) que l'on transporte sur place. Toutefois, certaines zones à naDDere ne sont pas repiquées en karal tant l'extraction des racines est malaisée (à Gawel, Mindif...).La proximité de mares est marquée de fentes. On doit donc généralement repiquer profondément (1 hapakannde et 1 doigt à Dumru et Mindif).

■ Karal yaarewal (pl. kare jaaje)

Il peut recouvrir de vastes étendues, qui ont été inondées ; le muskuwaari, dans ces zones-là, devient alors une culture de décrue. Lorsque l'eau est en train de se retirer, on coupe l'herbe dans 50 cm d'eau avec une faucille, au ras des racines. L'herbe va pourrir et se déposer sur le sol, maintenant ainsi l'humidité. On pourra parfois se dispenser du sarclage (7). Cette technique, en vigueur à Fadere, Balda, Bogo, Dargala... rappelle celle des Musgum avec le wulaga, « sorgho flottant » (8). Le trou est peu profond pour repiquer le muskuwaari qui, trop enfoncé, gagnerait en canne sans donner de panicule.

Il existe des types de karal plus localisés, sur les piémonts, autour des massifs de roches vertes, comme à Mogazang :

■ Ligazang (ou boDeewol)

C'est un emprunt aux Giziga voisins des Peuls pour désigner un sol de couleur rouge. C'est un bon karal avec ou sans petites fentes de retrait et la présence plus ou moins importante de pierres. Il produit même si la pluviométrie est défaillante. Il ne porte généralement pas de diguettes.

■ Les KorkaaYeewol

C'est un sol parent du ligazang, souvent à ses côtés sur les mêmes piémonts. Le sol est rouge et offre de petites fentes irrégulièrement espacées. L'apparition superficielle de pierres (korkaaYe = galets roulés) d'origine colluviale lui a donné son nom. Le couvert herbacé est peu dense ; on ne sarcle pas, on arrache à la main.

A Kosewa, ce type de sol est appelé karal dasol (rainure) (pl. kare dasi) qui signale une sensibilité à l'érosion. Le karal korkaYeewol peut apparaître en plaine. Dans la région de Sedek, à Wuro Abba, on désigne ainsi un karal mais les pierres ne sont pas ici apparentes.

Les karal en limite de leur possibilité se différencient en sols légers sableux et en sols compacts de type harde.

■ Karal Yoolde (sable)

C'est un karal marqué d'une légère pente, qui présente un aspect superficiel sableux. Les horizons inférieurs sont argilo-sableux et poreux. L'eau qui alimente les mbuluuwol en contrebas s'infiltre rapidement. Il faut donc repiquer tôt. Le muskuwaari apparaît ici comme une alternative car on peut y pratiquer les cultures sous pluie.

■ Karal Yongkoldewal (pl. Yongkole)

Il peut représenter dans les régions de Fadere, Pette, Balaza, le meilleur karal. Il est plat, sans trous, sans mares, sans fentes. De couleur légèrement foncée, il a selon les informateurs la particularité d'être recouvert d'éléments fins issus d'une intense activité des termites.

Les herbes qui y poussent : faalaande (*Dactylotenium aegyptium*), *Loudetia togoensis*, damaiiyel (*Tetrapogon spathaceus*), galbataari, ... sont coupées avant la fin de la saison des pluies, afin qu'elles pourrissent sur place (à Fadere par exemple).

Le muskuwaari est repiqué à faible profondeur (inférieure à 1 hapakannde) . On ne monte pas de diguettes. C'est également un sol ubiquiste qui peut au choix produire du njigaari (*Sorghum caudatum* rouge) ou du muskuwaari. Il existe de grandes zones de Yongkolde à Fadere et aussi à Kodek où les premiers ont été défrichés en 1990 seulement.

Enfin, les karal en topographie haute sont le plus souvent des harde aménagés. Leur exploitation , tout en étant très fluctuante, ne cesse de croître :

■ Le Karal towndewal

Karal en relief, c'est un pseudo-harde, généralement couvert de sable clair, sans fentes. Des diguettes peuvent être érigées.

■ Le Karal harde

Il est appelé encore harde dingiiji (diguettes). Les petites fentes sont rares ; ce qui retient l'attention est le côté construit et les dessins du carroyage de diguettes. La compacité du sol impose un gros effort pour planter le muskuwaari, parfois entre cinq et six coups de plantoir sur une profondeur de plus d'un hapakannde.

Les termitières peuvent recevoir tant sur les karal que sur les harde un traitement à part. On monte alors tout autour un solide muret pour y concentrer l'eau et entraîner son effondrement. Sur cet emplacement, le muskuwaari poussera mieux. On peut également les aménager à l'aide de diguettes concentriques de trois à quatre cercles également compartimentés. Au nord du cordon dunaire de Limani à Magdeme, sur un grand nombre de karal, les termitières aménagées avaient été les seuls emplacements où le muskuwaari a réussi en 1990.

Autant la terminologie des karal est fine, permettant même la désignation de situations de sol très hybrides, autant celle qui a trait aux harde est peu diversifiée quant au plan agronomique. C'est du reste ce qu'expriment les pédologues : « Hardé est donc un terme générique qui coiffe des sols halomorphes,lessivés, planiques ou hydromorphes. Ce complexe peut être considéré comme une unité naturelle regroupant « des sols improductifs dans le système agronomique traditionnel »... (GUIS, 1976, p. 142) (9).

Toutefois, les informateurs distinguent les harde Yaamnande — qui peuvent produire — de ceux Yaamnata ou nafata — qui sont stériles ou le sont devenus. Ces harde yoornde (secs), improductifs, peuvent néanmoins apporter une contribution en pâturage durant la saison des pluies.

Certains informateurs, dans la région de Julguf notamment, distinguent les types de harde à la couleur. Les harde blancs sont des harde raneere (incultes) tandis que les noirs et les rouges sont susceptibles de mise en valeur si les pluies le permettent. Ils déterminent aussi deux classes de harde, les anciens et ceux récemment apparus.

Il existe enfin des harde ngoolirde (de ngoolgo, grignoter) ou harde miiltirde (miiltaago, lécher) ou encore harde kilbu (natron), toujours à cause d'horizons à alcalis. Ces harde restent des zones attractives pour le bétail avec parfois des wasaande (mares artificielles ou aménagées) salées.

Toutefois, les harde recouvrent dans leur connotation de terres stériles ou peu productives des zones dégradées, ravinées par l'érosion, difficiles à régénérer. Ces *bad lands* sont désignées comme harde waanDe (mort) ou encore pellel baaDngel (places mortes).

Toute l'ambiguïté de l'utilisation du mot harde réside dans le fait qu'il désigne à la fois un type de sol et un paysage ou des états de surfaces issus de dégradations (10).

Région de Bogo, Cameroun, mois d'avril, vue aérienne d'un terroir à muskuwaari trois mois après la récolte : le « karal » apparaît en sombre, le « karal hardé » en clair. *En arrière-plan*, sur bourrelet de berge sablo-limoneux : cultures sous parc à faidherbia. *A droite, au centre* : hardé conservé pour le pâturage, traversé par une piste à bétail qui est clôturée en bordure des champs de muskuwaari. *En bord de mayo*, le long des berges fixées par des boutures d'*Ipomea*, on aperçoit un jardin maraîcher irrigable, clôturé.

LA PLACE DES KARAL-HARDE DANS QUELQUES TOPOSÉQUENCES-TYPES PRÉSENTÉES PAR LES INFORMATEURS

Chaque village ou chaque canton possède un certain nombre de karal et une dominante de un ou deux types. Bien rares sont les terroirs qui ne disposent pas d'un karal-harde.

A Wuro Zangi, par exemple, Baleewal et saDoore dominent. Un karal Yoolde est représenté à Wuro Malla et un karal rufiirde à Gurum, des karal harde étant cantonnés vers Gurum. A Meskine, un recensement des karal donne une majorité au mbuluuwol, suivi de saDoore et de karal Yoolde. Le karal-harde se trouve limité à Gogoriya Petel, Bellare, Harde Gabewo et Karal Lugga Fawru. Le karal-harde domine, en revanche, à l'ouest de Maroua, à Zeyka, Bilmiti, Dakar, Mogudi...

Les informateurs dessinent spontanément les toposéquences de leur karal sur le sable des cases-vestibules. Dans la région de Dakar (cf. diagramme 1), aux karal mayel font suite un karal mbuluuwol ou mbuluuwol-saDoore, puis un vaste karal-harde . Sur le harde, le réseau de diguettes devient de plus en plus dense avec la pente, les plus fortes densités s'exprimant au centre de l'interfluve qu'il occupe.

Dans une toposéquence relevée à Mindif, un karal weendu est en position basse, bien sûr, suivi du mbuluuwol que prolongent un saDoore, puis sans solution de continuité, un karal-harde. Une séquence à Fadere montre le yaayrewal suivi d'un Baleewal, puis d'un Yongkolde et enfin des karal-harde. A Bakurehi, proche, le Baleewal est encore en position basse, suivi d'un saDoore comprenant de nombreuses inclusions de harde. Il fait place à un Yongkolde dominé par une dune.

Dans la région de Dargala, au village de Guro (cf. diagramme 2, p. 16), la toposéquence la plus remarquable comprend des karal mayel, le muskuwaari occupant densèment tous les fonds de mayo enserrés dans des berges très marquées. Ces petits mayo sont très compartimentés,coupés par des digues pour mieux y maintenir l'eau. Dominant le mayo, le muskuwaari pousse sporadiquement sur un karal-harde et principalement dans le canal des diguettes disposées irrégulièrement.

Le karal-harde, partiellement mis en culture (1990), est prolongé par des inclusions de saDo Bale en léger contrebas. Elles se poursuivent par de vastes Baleewal entrecoupés de diguettes hautes qui retiennent l'eau de ruissellement sur des centaines de mètres.

Une autre toposéquence à Wuro Bogno (Dargala) (cf. diagramme 3, p. 16) passe d'un Yoolde, cultivé en petit mil, à un karal-harde qui, en 1990, n'a pas été mis en culture, mais dont on perçoit le tracé des diguettes. Il est suivi d'une amorce de saDoore avec ses touffes de graminées pérennes, dont seule la partie la plus basse a été repiquée. Elle s'imbrique dans un vaste karal Yaayrewal où se succèdent, ici régulièrement, des creux (ngaska) et des bosses (towtownde), avec en limite des places de naDDere séchées non repiquées.

Ainsi, dans la représentation que s'en font les gens et que confirment la plupart de nos visites sur le terrain, le karal-harde est en situation haute, souvent en fin de toposéquence de la série des sols vertiques.

Diagramme 1
DAKAR-VILLAGE
(Maroua-canton)

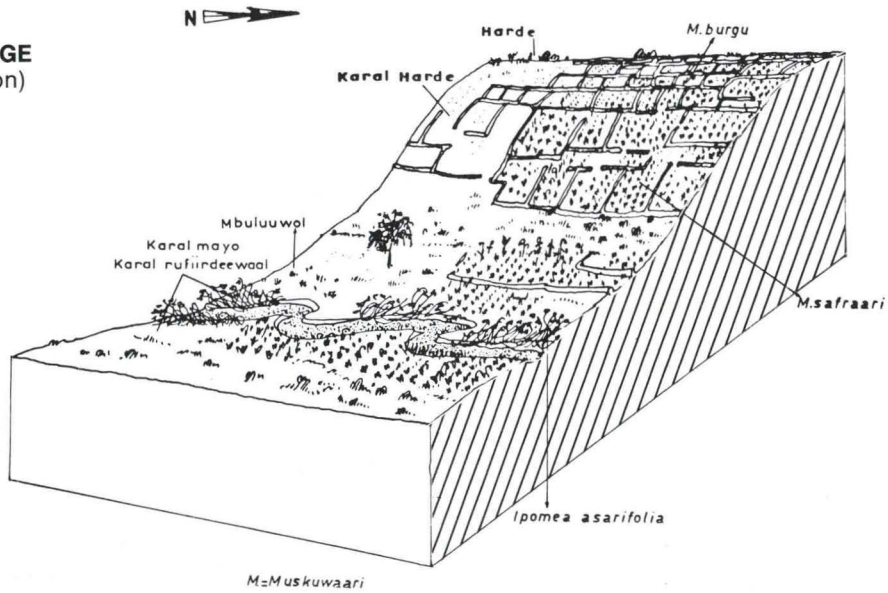


Diagramme 2
VILLAGE DE GURO
(Dargala-canton)

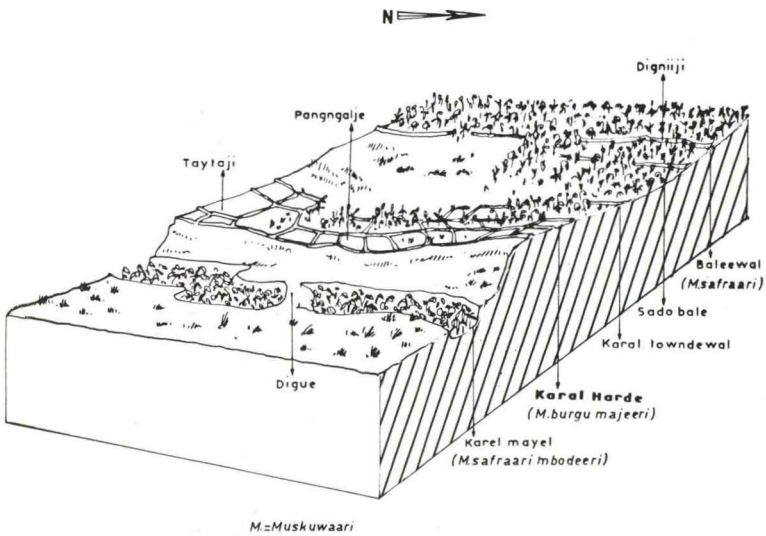
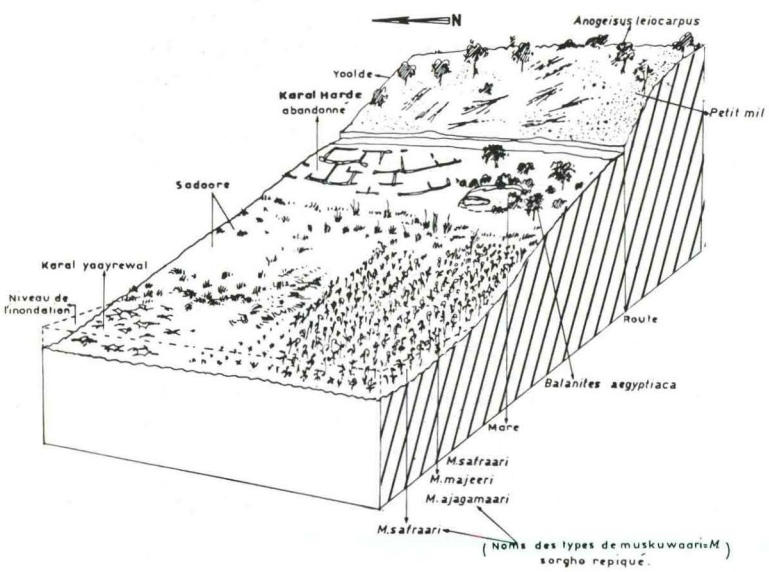


Diagramme 3
WURO BOGNO-VILLAGE
(Dargala-canton)



LA DIFFUSION DES MUSKUWAARI
Du karal mbuluuwol au harde

Les variétés de muskuwaari occupent différents karal sans réellement montrer d'exclusive . On remarque toutefois que le safraari (safra mboDeeri) l'emporte dans les mbuluuwol suivant l'expression souvent répétée : « safraari ndi Baleewal » (*le safraari appartient au Baleewal*). Sur saDoore, ce serait plutôt, dans certaines régions, ajagamaari et bulbasiri qui domineraient.

Sur le karal yaayrewal, mis en culture en dernier, on choisit un muskuwaari à cycle court comme majeeri daneeri, afin de ne pas devoir supporter les attaques de certains insectes qui profiteraient du décalage de cette culture par rapport à l'ensemble des récoltes.

Le karal-harde peut recevoir tous les muskuwaari : majeeri, manduwoyri, ajagamaari ... Le Burguuri, lui, est souvent associé mais sa présence est fonction de la position excentrée des harde, qui les rend plus vulnérables aux attaques des oiseaux. Burguuri mboDeeri est un sorgho irisé se révélant peu sensible à ce type de destruction. Sur d'autres karal, Burgu est également placé en auréole, en direction des zones boisées autour de la sole principale de muskuwaari (11).

Le safra est toutefois moins abondant. A Dargala, par exemple, si le karal-harde est bien préparé, si les pluies sont abondantes, on repique du safra mais, lors d'une année de déficit pluviométrique, on gardera Burgu, qui produira toujours un peu.

Actuellement, la diffusion du gelengdengre depuis le pays tupuri jusqu'à la latitude de Maroua connaît un certain succès. Il envahit même de nombreux karal, notamment des karal-harde (Guidiguis, Kolara,Mindif...). A Matfay, le majeeri lui a laissé la place et, à Mindif, il a chassé le nyaawri (12). A Mogom, le gelengdengre, d'abord repiqué sur du karal-harde, l'est maintenant sur du mbuluuwol.

Si la diffusion des différentes variétés de muskuwaari n'est pas évidente (13), on sait mieux, en revanche, comment a évolué l'exploitation des karal. Une carte de l'historique de cette progression est possible . De même sont connues les étapes de mise en valeur des différents types de sol à muskuwaari.

Selon les « lettrés » de Maroua et de Meskine, le muskuwaari serait né dans le Karal Geydam de la région de Yerwa (Bornu). Il se serait développé dans le Diamaré, à Wuro Zangi, apporté par des Foulbés

Mawndin installés auprès des Zumaya, peu avant la conquête peule à la fin du XIXe siècle et au début du XXe. A Wuro Zangi même, les traditions orales parlent d'un certain Bubakar Baba Zangi, qui serait plutôt un Sirata (Bornouan) Pataawal, en provenance du Bornu, de la région de Dwere. Il aurait apporté des grains de muskuwaari prélevés dans les déjections d'éléphants (14), puis aurait repiqué ce sorgho sur un karal Baleewal appelé Waylawal, situé comme son nom l'indique au nord de Wuro Zangi. Le premier muskuwaari repiqué aurait été ajagamaari kilburi, les safraari n'apparaissant qu'ultérieurement.

Pour d'autres, le premier karal fut un mbuluuwol de la région de Dargala, appelé karal Baskwal. On y aurait fait du muskuwaari, venant du Bornu, sous lawan Sambo de Bogo (1818-1843). Ce fut un karal renommé pour sa production et peut-être la première grande zone à avoir été repiquée. Il reste encore perçu comme une zone test : « s'il produit bien, la récolte sera bonne pour tout le Diamaré et si le muskuwaari s'assèche, il y aura la famine ».

C'est sans doute la version des Sirata Pataawal (de Gabani et de Yoldewo) qui est l'hypothèse la plus plausible. Des Sirata partis de Kuwaha (Bornou) auraient apporté le muskuwaari dans le centre de traite et de commerce qu'était Pataawal, au nord-est de Mindif, dans la première partie du XIXe siècle. Les guerres de Modibbo Hayatu (1883-1890) de Balda mirent à sac Pataawal. Les Sirata se dispersèrent, en diffusant le muskuwaari principalement le long du mayo Bula. Les Peuls du Diamaré vont poursuivre cette vulgarisation des muskuwaari en mettant en culture Baleewal et saDoore. Toutefois, au début de la période coloniale, le muskuwaari n'est encore qu'une culture peule.

Les Habe (non Peuls) vont les adopter progressivement. A Kaliaw, proche de Maroua, par exemple, le muskuwaari commence avec le défrichement des abords du mayo Kaliaw. Après deux ans de njigaari (sorghos rouges sous pluie), le muskuwaari fut choisi en 1927. Avec les vagues successives d'acridiens des années 30, sa culture fut suspendue pendant sept à dix ans. De nombreux autres groupes habe (Giziga, Mundang) vont subir ce repli.

Dès 1938-40, la diffusion des muskuwaari reprend sur les mbuluuwol, saDoore et karal mayo mais, dans la majorité des cas, essentiellement sur mbuluuwol. Les années 50 et 60, en revanche, vont être marquées par une pression continue sur l'ensemble des karal. On va tester différentes zones marginales et, dès cette époque, les harde seront sollicités. On procède alors à la mise en place de diguettes en carroyage. Toutefois, la technique des diguettes linéaires a commencé plus tôt et même, pour certains cas, avec l'établissement des premiers karal pour un meilleur contrôle de l'eau. A Mindif, les diguettes auraient été inaugurées sous lamido Bouhari (premières années de règne entre 1914 et 1920) et à Meskine sous lawan Garga (1907-1917).

VALEURS ÉCONOMIQUES COMPARÉES DU KARAL-HARDE ET DES AUTRES KARAL

Dans le classement des différents types de terres à muskuwaari, les informateurs peuls mettent en tête le mbuluuwol, suivi du saDoore. Les cultivateurs du nord de Maroua y ajoutent le ligazang. Certains autres désignent le karal rufiirdewal comme le plus productif, mais il n'a pas seule vocation de terre à muskuwaari.

Le karal-harde arrive le plus souvent à la fin. Il est accusé d'occasionner trop de travail et d'être plus que les autres tributaires des pluies. Même lorsqu'il n'est pas mis en culture, ses diguettes doivent être entretenues sous peine de compromettre sa fertilité. A Kaliaw, la corde (0,5 ha) de karal mbuluuwol est louée 10 000 FCFA et celle de ligazang, 5 000 FCFA ; pour le karal-harde, on demande 2 000 à 2 500 FCFA. Le karal-mayo atteint le prix de location le plus fort avec 15 000 FCFA et plus, car il permet une double culture annuelle : sorgho rouge hâtif, muskuwaari, puis (ou) culture maraîchère.

A Orlong et Kolara, la location de mbuluuwol monte à 9 000 FCFA la corde et celle de karal-harde à 3 000 FCFA. A Wuro Zangi, la corde de Baleewal va de 6 000 à 7 000 FCFA et celle de karal-harde est à 2 500 FCFA. A Balaza Lamido, où la pression sur les terres est faible, la corde de Yongkolde est à 6 000 FCFA, celles de Baleewal à 5 000 FCFA et de karal-harde à 1 000/1 500 FCFA si ce dernier est proche d'un Baleewal.

Les informateurs soulignent que le choix des zones mises en culture va dépendre des pluies. Si elles sont importantes, mais espacées, saDoore produira plus que le Baleewal. Si l'année offre un bon bilan pluviométrique, voire exceptionnel, certains pencheront alors (particulièrement dans les régions de Balaza, Fadere et Pette) pour le karal-harde. Ils rappellent même des exemples où, dans le passé, des karal Baleewal ont été délaissés au profit des karal harde.

LE KARAL-HARDE : MISE EN VALEUR DU HARDE ET DEGRADATION DU KARAL

La caractéristique du karal-harde ou de mise en karal des harde est de s'appuyer sur la construction de diguettes. Celles-ci peuvent en effet apparaître ou se développer sur certains karal à la suite d'un déficit hydrique entraînant une baisse de fertilité, mais elles ont sur le harde un caractère obligatoire.

L'élaboration d'un tel dispositif n'est donc effective qu'après un certain nombre de contraintes. Cet aménagement en surface de diguettes fermées exprime la culture pionnière de sols jusque-là délaissés.

Il existe toutefois un mouvement inverse lié à la disqualification de certains karal qui, pour les informateurs, prennent la forme de harde ou qui perdent leurs qualités jusqu'à devenir improductifs et être comparables à des harde. Ils seront alors traités comme tels avec l'installation de diguettes en caisson.

LA MISE EN CULTURE DES HARDE

■ Les causes

L'installation des premières zones à diguettes sur les harde de la région de Maroua correspond assez exactement à l'arrivée,en 1952, de la culture du coton annuel encadrée par la C.F.D.T. (Compagnie Française des Textiles). Le coton en spéculation reprit à Katwal les saDoore au sud du village où, auparavant, poussaient les cotonniers pérennes (*Gossypium hirsutum* et *Gossypium arboreum*). Lorsqu'en 1956, les paysans durent cultiver un quart d'hectare, de grandes surfaces furent défrichées en partie défoncées à l'aide de sous-soleuses. Tout le harde de Galla fut ainsi travaillé. A cette époque, la C.F.D.T. avait entrepris une vaste campagne de réhabilitation des harde en les convertissant en sole cotonnière (15). Il existe des harde « Galion » du nom qui, dans le Nord-Cameroun, recouvre tous les engins des Travaux Publics dans de nombreux villages : Wuro Zangi, Mogom, Matfay, Dogba. Ces « premières tentatives de récupération des sols hardé pour leur mise en culture étaient fondées sur des essais de régénération de la structure par sous-solage avec des moyens mécaniques lourds. Ces moyens,onéreux, avaient une efficacité localisée et éphémère,et les résultats étaient peu probants » (GUIS.,1976,p.149).

Puis, on s'aperçut que les meilleures terres à coton étaient celles plus légères, près des cours d'eau. Il fallut donner au coton une place parmi les emblavures de vivrier sous pluie, mais ce ne fut pas suffisant. Le déficit en grains enregistré à l'époque fut imputable non seulement à l'irruption des soles cotonnières, mais aussi à la mauvaise venue de certains sorghos à cycle long. Les karal-harde entrèrent alors dans une phase d'exploitation active, contribuant au rattrapage vivrier.

La mise en culture du karal-harde peut parfois correspondre à l'achèvement de la mise en culture des autres terres à muskuwaari. Récemment, en 1986, le village de Orlong décida, par manque de karal, de s'attaquer à un harde, après être allé voir à Dargala — référence en matière de culture de muskuwaari — la technique des diguettes. Un peu plus tôt, en 1977, les Foulbés de Guidiguis, après avoir défriché tous leurs saDoore, engagèrent l'exploitation des quelques harde dont ils disposaient.

La pression démographique est un élément déterminant pour la région de Maroua. Le besoin en terre est évoqué par les ressortissants de Kosewa qui, en 1980, ont décidé de vivifier le Harde Masuru, jusque-là inculte, en ayant recours à une forte main-d'oeuvre montagnarde mofu pour monter les diguettes.

La récupération des harde en karal-harde peut, en dépit des travaux d'entretien, n'être qu'épisodique. A Dargala, qui dispose d'assez peu de karal-harde, on le réserve au repiquage du muskuwaari seulement les années de fortes pluies et à ceux qui s'appuient sur des travailleurs rémunérés. Ils font alors le pari d'une grosse récolte que l'on pourra conserver d'une année sur l'autre.

Certains mettent leur harde en culture par suite du recul de leurs activités d'élevage, l'importance des harde ne correspondant plus à leur cheptel; c'est le cas de Jappay à Wuro Zangi.

Des communautés villageoises font le choix stratégique du muskuwaari par rapport à d'autres cultures produites sur leur harde et devenues trop aléatoires après une diminution de la pluviométrie.

Sur le harde de Zeyka, aux portes de Maroua par exemple, on fait encore du njigaari. Le muskuwaari

assure une production plus régulière. Les parcelles de njigaari reculent alors devant l'aménagement avec les diguettes. Ce passage au karal-harde semble devenu irréversible en raison du développement de *Striga hermontheca*, qui parasitait le njigaari mais est absent des espaces carroyés. De plus, on préfère les muskuwaari, qui se commercialisent mieux et dont les grains offrent une meilleure conservation que les sorghos rouges. On observe, toujours à Zeyka, sur les parties de harde laissées aux njigaari, que du muskuwaari est repiqué entre leurs pieds. On doit travailler un peu la terre à la houe avant de le repiquer et d'enlever les feuilles basses du njigaari. Cette situation est présentée comme une étape de transition vers le karal-harde.

On opte également pour le karal-harde par obligation de voisinage. La culture des muskuwaari ne peut être strictement individuelle. Un lopin de muskuwaari, seule culture de contre-saison, attire des vols d'oiseaux. Récemment encore, de nombreux essais sont restés sans suite pour cette raison chez les Giziga Lulu, les Masa Bugudum... avant d'être repris par des effectifs suffisants pour assurer une récolte.

Il convient également de s'accorder sur une discipline commune car il s'agit de repenser la stratégie du village ou, souvent, d'un ensemble de communautés villageoises, visant à la circulation du bétail. Celle-ci s'articule en effet le plus souvent sur les zones harde.

Ces disciplines agraires, qui intéressent parfois de vastes surfaces, imposent des ententes, comme ce fut le cas à l'ouest de Maroua. Dans l'évolution de l'exploitation des karal, les premiers mis en place furent ceux le long du mayel Dadawa, donc des karal-mayo avec les mbuluuwol qui les prolongent. Les karal légèrement en relief, où étaient cultivés par plaques njigaari et coton, furent à leur tour colonisés par les muskuwaari.

Quatre villages, Jonka, Zeyka, Doyang et Masinika, se sont accordés à vivifier la zone de harde occupant toute la partie centrale de l'interfluve qu'ils partageaient et à réglementer le passage de leurs troupeaux. Ils commencèrent par construire un damier lâche de diguettes sur les parties basses avant d'investir peu à peu, en la densifiant, toute la partie médiane de l'interfluve (cf. photo p. 9).

■ Techniques d'aménagement et gestion du karal-harde

Depuis 1965-70, les Giziga de Mogudi et les villages peuls de la route Mogudi-Maroua ont entrepris d'exploiter leur immense harde en position d'interfluve. Ils le firent selon une technique bien au point, qui se poursuivait activement encore en 1990. Un damier de diguettes, de 2 m × 3m ou de 3 m x 5m, est élaboré. La deuxième année, si wicco wamndu (*Setaria pumila*) apparaît en quantité suffisante, ce qui les décidera à repiquer l'année suivante. Ils choisissent alors Burgu pour des raisons déjà évoquées et à cause de sa rusticité; Burgu constitue un matériau d'essai. Il est aussi plus précoce que le safraari. Il sera repiqué à un écartement très supérieur à 1 m (16). La quatrième année, surtout si le carroyage se trouve en deçà de l'avance pionnière des diguettes, ils tenteront un muskuwaari plus noble, safraari mBodeeri, à 70 cm d'écartement.

Toute la zone à l'ouest de Maroua est parfaitement représentative de cette progression en culture des harde. Les diguettes,larges de 20 à 25 cm et hautes de 15 à 30 cm, sont associées à de petits canaux, ngasgel ou luggol dingiiwol. L'élaboration des diguettes est un travail très contraignant qui s'effectue lorsque l'herbe pousse et que la terre est meuble. Le canevas du carroyage peut être tracé à la charrue. Le montage des diguettes lui-même fait intervenir de nouveaux instruments, des sortes de pelles à manche court, des houes à billonnage hausa (galma) et il exige une nombreuse main-d'oeuvre. Ces diguettes doivent être réaménagées et entretenues au moins tous les deux ans. Si sur le karal-harde persistent des plaques « hardéifiées », avec un tapis graminéen discontinu et l'apparition de croûte d'algues, il faudra resserrer les diguettes ou, pour parer au plus pressé, écarter les pieds de muskuwaari. Le carroyage est modulable. On part d'un grand maillage et, selon les besoins en eau, on peut le resserrer jusqu'à atteindre la régularité de celui des jardins d'oignons (pangngalje).

Vu l'importance de l'investissement et la limitation voulue des travaux nécessaires, le karal-harde commande une discipline agraire plus stricte encore que celle des karal. Dès que les pépinières de muskuwaari sont semées, interdiction est faite au bétail de divaguer dans la zone. Il faut écarter les troupeaux des pépinières (17) car les jeunes pousses vertes, gorgées d'eau, peuvent être fatales pour le bovin. Une fois séchée, la pépinière ne présente plus de danger. Toutefois ce ne sont pas les seules pépinières qui sont en cause, mais aussi le réseau de diguettes fragilisé par les pluies et qui serait dégradé par le passage des bêtes.

Le tapis graminéen du karal-harde de la région de Maroua est dominé par le blond roux des inflorescences de *Setaria pumila* et la couleur argentée de *Loudetia togoensis* (18) ; il ne doit pas être foulé par le bétail. Seuls les petits ruminants y sont tolérés jusqu'au début du repiquage. Cette discipline agraire concernant les karal, supervisée par les lamido et les lawan, est en vigueur dans tout le Diamaré (19).

Le bétail doit laisser le tapis graminéen intact pour qu'une fois le feu mis, toutes les herbes soient brûlées, facilitant ou escamotant ainsi le travail de préparation du sol et les sarclages ultérieurs. Le piétinement du bétail sur le karal-harde — mais aussi sur tous les karal — pendant la saison des pluies entraînerait un tassement du sol préjudiciable à une bonne percolation de l'eau. La marque des sabots crée des aspérités qui, durcies, gêneront ou empêcheront le travail du biikorDi (pl. wiikordu), sorte de lame de fer recourbée que l'on manipule avec un mouvement de va-et-vient latéral et qui tranche à même le sol les plateaux de racines. Le passage du bétail entraînerait également un tallage des graminées qu'il serait ensuite difficile d'extirper.

Une parcelle mal brûlée doit être reprise au biikorDi. Dans les zones plus enherbée, il faut employer la houe et même la charrue si les espacements des diguettes le permettent . Selon d'autres informateurs, au contraire, l'absence d'herbe permettrait d'utiliser directement la houe et de se dispenser ainsi d'un sarclage ultérieur (villages de Jappay et de Lubur). Dans la région de Mogom, les karal mbuluuwol sont travaillés à la charrue et les autres au biikorDi. La mise à feu des graminées est une opération soigneusement exécutée. Dans les espaces voisins moins bien enherbés, on dépose des gerbes de *Loudetia togoensis* prélevées sur les harde voisins : « Le jour où muubaraawal sèche, c'est comme l'étoupe ou l'essence qui propage le feu aux autres herbes. »

Le but est même d'apporter *Loudetia togoensis* à bonne maturité afin qu'une partie des graines demeure et que petit à petit le tapis graminéen se transforme. Cette technique est généralisée dans la région de Mindif (20). On peut aller chercher *Loudetia togoensis* très loin, à Mogom, à 2 ou 3 km, de l'autre côté du mayo Bula. A Gawel, elle occasionne un transport en pousse-pousse de 3 à 4 km et, à Dogba, elle est récoltée jusqu'à 10 km, sur les bords du mayo Mangave.

Le feu est mis progressivement à partir de la mi-septembre. Les informateurs nient tout intérêt aux cendres récupérées par les petites fentes de retrait qui commencent à se dessiner et à l'enrichissement qu'elles apportent au sol. Le but est de se débarrasser, à moindre effort, de l'herbe et de préparer ainsi le repiquage du muskuwaari. Les troupeaux viendront, après la récolte, sur les éteules profiter des bas de cannes, en particulier celles « sucrées » des safraari.

Ces karal-harde, souvent en position haute, se trouvent donc éloignés des mayo et de l'approvisionnement en eau. Aussi sont-ils plus que les autres karal ponctués de trous afin d'y puiser l'eau nécessaire aux poquets des plants de muskuwaari (21). Les plus grosses excavations, okkoloore, servent à plusieurs cultivateurs. Le manque d'eau peut être, au moment du repiquage, un facteur aussi limitatif que la mauvaise venue des pépinières ou un flèchissement dans le bilan pluviométrique.

Le muskuwaari pousse plus irrégulièrement sur le karal-harde car il est en situation limite. Toutefois sur des karal-harde homogènes, lorsque toutes les conditions sont réunies, on remarque, dans la région du mayo Bula, une plus grande précision dans l'écartement des plants. Entre deux lignes, l'écartement est de cinq pieds (yaaBannde) et de quatre pieds sur la ligne. Sur les karal, l'écartement des muskuwaari, toujours en lignes, est laissé à l'appréciation du cultivateur, qui tiendra compte des microreliefs.

LA DÉGRADATION DU KARAL ET SON MAINTIEN EN KARAL-HARDE

La dégradation d'un certain nombre de karal par abus d'exploitation, et surtout par déficit du bilan hydrique, conduit à une perte de la structure superficielle, à une diminution des fentes et à une amorce de compactage.

Ces terres ne sont pas abandonnées, mais traitées comme des harde avec la construction ou la densification du réseau de diguettes devenues obligatoires. Il s'ensuit une mise en culture aléatoire, les seules années où le bilan des pluies est jugé positif.

La récession des karal en harde concerne surtout la partie du Diamaré au nord du mayo Bula, dans les zones des plus anciennes implantations du muskuwaari et les régions plus septentrionales en direction des plaines de Mora.

A Julguf, les informateurs expliquent le recul de leurs karal par le fait que le dôme cristallin auprès duquel est implanté le village ne fonctionne plus comme château d'eau pour les alimenter. L'aménagement du karal-harde a précisément été entrepris en 1928 mais il ne s'est généralisé qu'en 1950/55. A cette même époque, un certain nombre de karal « francs » étaient abandonnés : Karal Belle, qui était auparavant un mbuluuwol-saDoore, de même que Karal Buli Jammi, près de Ngasaw. Aujourd'hui, les karal-harde mis en place évoluent aussi, tel Harde Awima, où seule la partie occidentale est encore exploitée. On dut aussi arrêter la culture de Harde Gilayi, qui devint un harde nafannde (inculte) sur lequel même l'herbe pousse difficilement.

La région de Wuro Zangi est essentielle pour l'étude des karal et des harde car c'est l'une des plus ancien-

nes régions d'implantation des muskuwaari dans le Nord-Cameroun, du moins dans l'aire de peuplement peule. Il est prouvé que certains karal sont cultivés en muskuwaari depuis plus de deux siècles, comme le premier mis en culture, celui de Waylawal.

La baisse de fertilité de Waylawal a contraint les cultivateurs à le traiter partiellement en karal-harde dans les années 50 de même que, vers 1960, le Karal Be'i (22) est devenu Harde Be'i. Dans cette zone, pour maintenir une production, les diguettes sont devenues impératives jusque sur les Baleewal.

Dans la région de Wuro Zangi, il faut actuellement un sarclage à la houe et même deux sarclages pour les parties parasitées par certaines adventices. BiikorDi est encore utilisé sur saDoore,mais c'est la charrue qui s'impose sur les Baleewal et même sur les karal-harde. On utilisait auparavant muubaraawal pour mettre le feu — que l'on crédite ici de pouvoir fertilisant — au karal et au karal-harde et la récolte était supérieure.

Les karal-harde issus d'une dégradation du karal demeurent toujours extrêmement tributaires de la pluie. Si elle est abondante, tous les muskuwaari sont alors possibles et ils produiraient plus qu'ailleurs. Avec des pluies parcimonieuses, ils se voient en revanche abandonnés comme ce fut le cas en 1990, non seulement à Wuro Zangi mais aussi à Balaza, Fadere ...

A Fadere, un certain nombre de karal sont devenus harde. Aucun type ne semble être épargné par cette évolution, qui recouvre plus une levée temporaire de fertilité — vu les conditions hydriques actuelles — qu'une mutation pédologique au sens strict (23). Le Harde Luba Luba résulte de la dégradation d'un karal Baleewal de même que le Harde d'Alagarno et Harde Jiddel Joye. Harde Magaldaw est issu d'un saDoore ; quant à Harde Musgun, il est la conséquence de la défertilisation d'un ensemble saDoore-Baleewal. Harde Adumer vient,lui, de la dégradation d'un karal rufiirde et Harde Hoddando d'un karal Yongkolde. A Fadere,les potentialités de mise en karal restent grandes, vers la sortie du mayo Motorsolo et les yaayre ; de vastes espaces de karal de type Yongkolde sont encore libres. Toutefois, en 1970, les gens de Fadere ont pour la première fois exploité une partie du Harde Juburwo qui prolonge un saDoore, ce qui prouve que le karal-harde peut représenter un complément possible dans la gamme des karal même s'il est cultivé irrégulièrement.

On utilise depuis longtemps les karal-harde à Balaza Lamido et on les traite de façon originale. Une fois leurs qualités épuisées,les karal-harde sont rendus à l'état de « kaatinDe badigorjo » (foyer de célibataire), expression qui fait allusion à l'aspect chaotique, désordonné de la surface, suscité par l'apparition de certaines concrétions *... Ces harde sont alors abandonnés pendant six à huit ans. Lorsqu'apparaissent les gurbasiije (de gurballowal, grand calao d'Abyssinie, à la démarche caractéristique amplifiée par le va-et-vient de la tête), c'est-à-dire une succession harmonieuse de creux et de bosses (*), et qu'un peu de *Echinochloa sp., Panicum sp., Tetrapogon sp.* poussent, signifiant ainsi un réinsertion dans la gamme des karal, on reprend la culture du muskuwaari pour une période d'environ sept ans.

Dans la région de Balaza Lamido, des pluies abondantes incitent une majorité de cultivateurs à se porter sur les karal-harde (c'est-à-dire Harde Karal Gaari, Harde Ginaji et Harde Kaawu jiga) ; certains abandonnent même cette année-là leurs karal Baleewal.

Les « bosses », signalées par les agriculteurs comme un signe de la régénération de la fertilité d'un Hardé, se créent tout d'abord en bordure de diguettes.

* Ndlr. L'auteur soulève là, trop brièvement, un problème très intéressant qui n'a pas été suffisamment étudié : d'une part, il faudrait déterminer les critères pédologiques qui entraînent l'abandon des cultures ; d'autre-part, il serait nécessaire de savoir comment se forment les bosses qui apparaissent sur de très nombreux sols Hardé,après l'installation de diguettes.

AUTRES UTILISATIONS DES DIGUETTES ET DIVERS DISPOSITIFS

Des diguettes ont été montées dès l'exploitation des premiers karal Baleewal, bien avant l'amorce de la vivification des harde. Ces premières diguettes ne forment pas de maillage. Placées sur les courbes de niveaux, elles freinent l'écoulement des eaux. A Korre, par exemple, les diguettes disposées sur des karal Baleewal empêchent l'eau de rejoindre trop rapidement les karal yaayrewal en léger contrebas. Il s'agit de longues diguettes courant sur plusieurs centaines de mètres, hautes parfois de 40 à 50 cm, remontant un peu aux extrémités, comme de grandes parenthèses.

La construction systématique de diguettes et la création de maillage régulier sont en revanche récentes. Le but est toujours de créer un engorgement temporaire forçant la pénétration de l'eau. Dans la région de Dargala, le terme de dingiiji s'appliquerait aux longues diguettes des Baleewal ; Beri Beri (24) désignerait les diguettes des karal-harde enserrant des espaces réduits signalés comme taYtaaji (sing. taYtawol) pour des damiers irréguliers et panngalje pour des damiers serrés et réguliers.

Les diguettes interviennent aussi pour redonner de la vie au karal qui s'épuise. Si la production baisse et si des zones nues apparaissent sur certains mbuluuwol, toujours à cause du manque de pluie, on élève des diguettes, action susceptible de faire doubler les rendements. Si elles existent, on resserre le maillage jusqu'à la réapparition des fentes de retrait.

Les diguettes fermées peuvent être aménagées sur les karal mbuluuwol et même sur les karal yaayrewal, mais pas sur saDoore ; elles ne sembleraient pas, non plus, nécessaires sur Yongkolde (25). L'aménagement de diguettes peut parfois, au contraire, servir à limiter les fentes de retrait. La présence de fentes trop larges et profondes sur certains Baleewal, qui signalerait un excès de dessication, n'est pas un signe de qualité pour un karal, car il faudrait repiquer trop profondément. Ces zones, le plus souvent ponctuelles, connaissent une déprise du muskuwaari.

Le réseau de diguettes est également modulable dans le temps. Un carroyage peut être conservé quelques années et, si l'on juge le karal refait, on nivelle les diguettes pour se dispenser de leur entretien.

A Gayak, par exemple, sur les karal mbuluuwol et boDeewol se déroule une alternance entre coton et sorgho variété jiggari et, depuis 1980, variété cerge (Short Kaura des montagnards). Si *Striga hermontheca* est jugé trop envahissant, on aménage des diguettes et on cultive pendant trois à quatre ans du muskuwaari. Le sol est alors enrichi, les diguettes peuvent être supprimées et la rotation coton/sorgho reprend.

Dans les régions de Mindif, Matfay,Mogom et Wuro Zangi, des diguettes sont construites pour lutter contre kaatki (*Launoea chevalieri*). Cette *Asteraceae* est comparée par ses effets au *Striga* pour les sorghos sous pluies. Les rendements chutent, les plantes meurent. Kaatki envahit les karal mbuluuwol et n'apparaît pas sur les karal saDoore et très rarement sur les karal-harde. Des diguettes sont élevées sur les mbuluuwol fatigués, donc sensibles au kaatki (26). Kaatki s'accompagne d'autres adventices nuisibles comme arDadel (*Merremia emarginata*), Boore (*Ipomoea eriocarpa*), Bepal, une *Acanthaceae* à odeur forte (*Peristrophe bicaliculata*), Puuri dutaahi (*Aspilia rudis*) et encore mbirisi, dont les racines pénètrent profondèment dans le sol. On est frappé par la disparité des adventices du muskuwaari. A peu de distance, ce ne sont plus les mêmes bien qu'il s'agisse de karal identiques. Ici, ce sont les attaques de kaatki les plus à craindre, là celles de Boore.

A Gawel et Zamalaw, par exemple, c'est l'envahissement de kumbo Beda (*Paspalum* cf. *seroliculatum*). Les cultivateurs renoncent parfois à le sarcler et de vastes surfaces de karal ne portent que des plants chétifs à panicules minuscules. Dans certains quartiers de Mindif, c'est zariyahi (*Entada africana*) qui provoque une gêne. A Dogba, on accuse Bepal des plus gros dégâts et on cherche à l'éradiquer dès la saison des pluies, bien avant de repiquer. Il en est de même de mbirisi.

Ailleurs, plus au nord, à Dulo, ce peut être *Calotropis procera*, développé par le passage du bétail, qui devient envahissant. Entre le moment où le muskuwaari est repiqué et celui où il est récolté, certains villages doivent le couper jusqu'à trois fois. On note enfin une variation dans le temps de l'attaque de ces adventices. A Mogom, par exemple, les effets de kaatki étaient plus importants il y a une quinzaine d'années . En 1990, ce sont ceux de mbirisi.

Le système de diguettes peut être complété par d'autres techniques, celles de cupules retenant l'eau. Les diguettes sur courbes de niveau existaient chez les Mundang de Lara, qui les auraient utilisées sur les harde pour les sorghos rouges. Aujourd'hui, toujours sur les mêmes harde, elles servent les muskuwaari. Ce sont de longues diguettes avec, en retrait, des séries de petites excavations afin que l'eau percole mieux dans le sol du harde.

A Julguf, sur les harde, on fait des carroyages réguliers. Sur les parties les plus dures, désignées par

le terme de madere (pl.made) « aussi dure que la roche ou le natron », on creuse,en plus des panngalje, des berinanDe (sing. werinannDe), qui sont de petits entonnoirs. Dans ces cupules, de 25 à 30 cm de diamètre et de moins d'1 hapakannde de profondeur, l'eau va demeurer et se diffuser un peu sur la périphérie. C'est là que seront repiqués les deux plants conjoints de muskuwaari.

A Mindif, sur certains karal-harde ou karaltowndewal, chaque carré présente plusieurs lignes de cupules. On les appelle harde bere bere. Le repiquage s'effectue le long de la rainure intérieure qui suit les diguettes et dans les cupules.

CUEILLETTE ET ÉLEVAGE : LES AUTRES UTILISATIONS DES HARDE

La toponymie des harde est une bonne indication de l'utilisation qui en est faite. Il existe un certain nombre de harde appelés harde Biir Biir, onomatopée produite à partir de Biirgo : racler le fond d'un canari. Elle évoque ici là dureté de la mise en culture de tels sols.

Un grand nombre de noms de harde signale la végétation dominante: harde belluDe (*Lannea humilis*), harde cilluDe (*Acacia sp.*) ... ou encore fait directement référence à son emploi : harde joodaare pour le bétail qui y stationne, harde nduumirga, place où le troupeau passe la saison des pluies, ou harde be'i qui précise le type de bétail, en l'occurrence des chèvres.

L'association mare et bétail est fréquente pour désigner les harde : lugga nagge, harde burti (jeunes taureaux)... A Nanikalu, la mare et le harde portent le nom de kalhaldi, ce qui signifie taureau chef de troupeau.

CUEILLETTE

Si les harde servent à la cueillette, ils n'en sont toutefois pas des lieux privilégiés comme les bourrelets de berge des mayo, où les tubercules sauvages prospèrent. Néanmoins, en période de disette (1921-27, 1930-33 et,plus récemment, en 1970-73) ils sont activement visités.

Les zones à peuplement monospécifique de *Lannea humilis* sur plaques de harde à halomorphisme marqué étaient prospectées pour leurs racines tubéreuses, rouies et consommées un peu comme le manioc.

Les termitières qui ponctuent les harde portent des associations végétales, dont les productions sont mises à contribution même en dehors des soudures difficiles. Les fruits de *Capparis corymbosa* et de *Boscia senegalensis* sont mis à rouir pendant trois jours ou bouillis dans de l'eau additionnée de natron, séchés, pilés, réduits en boule et consommés avec ou sans lait. Des *Grewia sp.* sont également susceptibles de fournir des brèdes.

On peut y collecter des pieds d'*Aloe buettneri*, consommés après avoir été bouillis, ainsi que ses fleurs pour les sauces. Les bulbilles d'*Asparagus flagellaris* et les graines de *Piliostigma reticulatum* ne sont pas négligées.

Dans certains harde, à la surface décapée, la végétation ligneuse déjà préalablement sélectionnée peut perdurer sur des sols épargnés par l'érosion en nappe. Ces harde, provoqués ou entretenus par le stationnement d'une forte concentration de bétail aux abords de certains établissements d'éleveurs, présentent le même paysage de *Balanites aegyptiaca* accompagné, dans le nord du Diamaré, de *Boscia senegalensis*. Ce dernier, très appété par le bétail, offre généralement un port buissonnant en boule, depuis la latitude de Pette jusqu'au lac Tchad.

Le *Balanites* se présente souvent en peuplement monospécifique sur les harde proches des villages. Sa taille en tétard résulte d'une cueillette assidue des jeunes feuilles qui constituaient jadis l'une des rares brèdes fraîches durant toute la saison sèche, fournissant une sauce commune mais appréciée. Dès que la pluie tombe sur les feuilles, celles-ci perdent tout intérêt. On peut néanmoins conserver les feuilles cueillies pendant la saison sèche pour les consommer durant la saison des pluies. Les femmes coupent les branches et prélèvent les feuilles au pied des arbres.

Sur les harde à proximité des karal, les houppiers de *Balanites* en petites boules épineuses serrées font de lui un reposoir peu attirant pour les oiseaux. On voit parfois apparaître, sur les harde, *Acacia nilotica* qui fournit des gousses utilisées pour le tannage des peaux. Il existe une demande soutenue pour les produits d'*Acacia nilotica* afin d'alimenter l'artisanat de Maroua. Ces arbres sont parfois semés sur les harde près des villages et des quartiers sirata, souvent eux-mêmes artisans du cuir (27).

Enfin, *Acacia seyal* et *Acacia senegal*, épineux des harde à proximité des villages, constituent une réserve mise à contribution pour dresser des zeriba, qui entourent des parcs à bestiaux ou clôturent certaines parcelles. On va également y chercher le bois et un chaume, de qualité médiocre, pour les litages intermédiaires entre faîte et base des toitures.

Il convient de signaler que, dans le passé, de vastes étendues de harde et de karal du Diamaré présentèrent une exploitation bien particulière de la faune.

Jusqu'à la conquête peule, l'ensemble karal/harde fut une source de matière grasse avec l'exploitation systématique de batraciens, plus particulièrement de « gidigidiiru » (pl. gidigidiiji), grosses grenouilles à gorge orange (28). On en extrayait une huile qui se figeait et qui était conservée dans des jarres. Elle était considérée comme la matière grasse essentielle consommée par les populations des plaines comprises entre le Logone et les monts Mandara, notamment par les Zumaya, population conquise et assimilée par les Peuls et par une partie des Musgum.

Ces diverses variétés de batraciens comestibles se répartissaient dans des aires de peuplement entre vertisols et sols halomorphes (merkleje, bacukoyru...). Certains étaient réservés à la fabrication d'onguents et d'excipients dans la pharmacopée.

La conquête peule est explicitée dans les récits zumaya par l'appropriation des karal et des harde par les Peuls et l'impossibilité pour les Zumaya de continuer leurs campagnes de capture des batraciens.

HARDE ET BÉTAIL

■ Intérêts multiples des harde pour l'élevage

Les harde sont désignés comme hurum (réserve) de la racine kurum (= sombre, sous-entendu épais, boisé). Ce terme s'applique aux réserves de pâturage boisé sur Yoolde (dune) et a été étendu aux harde. Les harde sont donc perçus comme des pâturages ou tout au moins des endroits où circulent et stabulent les troupeaux. Les informateurs le répètent à l'envi : « harde nafan dabba (dabbaji) » = « les harde sont nécessaires au bétail ». L'intérêt des harde ne peut en effet se comprendre qu'en fonction de la circulation du bétail. Chaque village possède dans son environnement immédiat un harde dabbaaji, qui sert à regrouper les troupeaux du village restant à demeure. Pendant la saison des pluies, le bétail y stationne le matin en attendant de partir sur les pâturages lorsque le soleil est déjà haut. C'est là aussi que s'opèrent les regroupements et les tris lors des retours de transhumance.

Avec le recul progressif des pâturages de karal et la multiplication des emblavures de cultures sous pluie, les harde ont pris de plus en plus d'importance. La partie du troupeau qui reste au village sera maintenue sur les harde « où on ne s'enfonce pas » durant la saison des pluies.

Tous les harde de Dargala : Harde Sali, Harde Golo, Harde Magirawo, Gandarma, Wuro Bogno, Dawa, Hoddande ... sont des hurum du canton. Il ne s'agit pas seulement de pâturage pour le gros bétail mais pour les petits ruminants, comme en témoignent les noms de Harde Mballi (mouton), Harde Be'i. Le petit bétail les utilisera durant la saison des pluies comme pendant la saison sèche. Chaque village aura son ou ses harde, avec parfois en complément « son » Yoolde, dune également égouttée, dépourvue de cultures. A Orlong, par exemple, les troupeaux stationnent alternativement sur le harde et le Yoolde,car ce ne sont pas, bien sûr, les mêmes pâturages. Pendant la nuit, ils sont maintenus sur le harde alors que le Yoolde, mieux aéré, les accueille pour un pâturage diurne.

Les harde, toutefois, se présentent comme un pis-aller. Pour les villages disposant de brousse, comme Gawel, ou de Yoolde tel Kosewa, ou encore de collines peu vivifiées comme Dogba, les harde sont à peine utilisés, seulement au début et à la fin de la saison des pluies.

■ Les harde, lieux de stationnement et de passage du bétail

Les villages récupèrent des zones déjà « hardéifiées » ou en créent de nouvelles à proximité des habitations, par un tassement du sol dû à une concentration de bétail, au piétinement des hommes, dans le cas de marchés (29). Selon les informateurs de Sedek, les harde sont d'anciennes places, longtemps occupées par des gens possédant du bétail. Elles sont même désignées par les noms de chefs musgum, antérieurs à la conquête peule : Harde Ebelinke, H. Abukuma ou H.Billel (ancien lieu habité) et, plus

récemment, Harde Tuppere, ancien emplacement de Sedek.

La situation est particulièrement démonstrative dans la région de Maroua. Les deux harde, au nord-ouest et au sud de Zeyka, servent au regroupement du bétail. Les gens de Zeyka affirment pouvoir à tout moment récupérer ces harde « artificiels » si le besoin s'en faisait sentir et les reconvertir en karal-harde. C'est du reste une question qui se pose pour les villages proches de Maroua. Certains voudraient éloigner leurs troupeaux et les disperser dans les villages apparentés, mieux pourvus en pâturage d'accès facile.

A Nanikalu, le Harde Pallangu au nord du village, réservé au bétail, est progressivement aménagé avec des diguettes. Le troupeau décimé lors d'une peste bovine dans les années 50 n'a été qu'imparfaitement reconstitué ; les cultures s'approprient donc peu à peu ce harde.

Au sud de Wuro Zangi, immédiatement dans le prolongement des habitations, le Harde Sallikre (lieu de rassemblement des grandes prières) a été défoncé vers 1960 par les sous-soleuses de la C.F.D.T. qui en fit un test pour une exploitation des harde. Sur près de cent cordes, on a cultivé du coton durant dix à douze ans. Pour les informateurs, ce harde pourrait être un excellent karal-harde, mais c'est le lieu où passe le plus gros de leur cheptel et là aussi que se disperse le petit bétail en direction des éteules et des parcs d' *Acacia albida* des bords du mayo Bula. L'importance de l'aménagement en karal-harde et la garde qu'il faudrait assurer pour le bétail n'encouragent pas cette transformation ; cependant, le besoin d'un espace harde que ressent chaque village, pour son troupeau, est significatif.

■ Les harde, pâturages de saison des pluies

Les vastes zones de harde du Diamaré servent de pâturage en saison des pluies, surtout les harde bien égouttés et dépourvus de mouches. Les caractères de la végétation de harde, avec un nombre réduit d'espèces, un faible taux de recouvrement et l'importance des essences xérophiles, ne suscitent que des pâturages médiocres. Les tapis graminéens sont généralement bas, discontinus, composés de *Schoenfeldia gracilis, Schizachyrium axile, Microcloa indica, Aristida hordeacea* ... et, pour les moins secs, de *Chloris lamproparia, Panicum laetum, Eragrostis spp.* et *Brachiaria sp.* ...

Les Foulbés établissent un lien entre certains pâturages de harde et la présence de bétail. Si les pluies sont favorables et si les harde sont recouverts d'une pellicule sableuse non consolidée, les déjections du bétail favoriseraient l'année suivante un pâturage d'herbe rase avec une dominante de *Zornia glochidiata*. On peut également assister au développement de Phanérogames à port réduit comme *Tripogon minimus* associé à *Smeringocera lineola* et *Lasiocora nitidula*.

Dans les harde moins pâturés, quelques espèces herbacées pérennes réussissent à s'adapter, des graminées comme *Sporobolus festivus* et encore *Tripogon minimus*, ainsi que des plantes à bulbe telles *Dipcadi viride* et *Drisniopsis barteri* (30).

Certains harde appartiennent, de par leur situation limitrophe, à deux ou plusieurs communautés villageoises ; là s'organisent, par exemple, les troupeaux pour partir en transhumance ou en revenir. C'est le rôle tenu par Mayel Harde Kaye entre les villages d'Orlong et de Kolara.

■ Intérêt régional mais déclinant des harde « salés »

Il existe des harde qui recouvrent une importance régionale. Harde Lagaaje, dans la région de Kaya, est assez représentatif. Il s'offre depuis le début du XIXe siècle comme point de ralliement de nombreux troupeaux peuls et, avant cette époque, du bétail des groupes agro-pasteurs zumaya-muzuk. Une partie de ce harde dispose de terres salées, ngoolirde, et certains points d'eau saisonniers sont « natronnés ». Des herbes salées, manda mbara, selselde, seraient également très appétées par le bétail. Ce harde se situait près de la plus grosse bourgade d'alors, Kaya, rivale quant à la taille de Mindif, abandonnée pour Mulfuday en raison du manque d'eau. Kaya accueillait également les troupeaux de Gajia et de Korre ; l'abondance de bétail stationnant près de Kaya, durant la saison des pluies, attirait les voleurs des pays musgum et tupuri, si bien que l'on devait garder les troupeaux, armé d'un arc, ce qui explique l'appellation du harde : Lagaaje (de lagaawal = arc, en fulfulde).

Les pistes à bétail empruntent prioritairement des suites de harde. Harde Lagaaje est traversé par l'un des principaux couloirs de transhumance nord-sud, à la fois vers les yaayre et au retour des yaayre où, plus nombreux (26 000 têtes), les troupeaux opèrent là leur scission pour passer la saison des pluies dans la région de Mindif.

Des harde servent aussi de haltes pour des milliers de têtes de bétail en même temps, tel le harde Balndi, au sud de Dumru, à la frontière du Tchad, qui est un relais pour tous les troupeaux venus de la région de Mayo Mangave et de Dargala et qui descendent chercher la pluie vers le sud.

Il est en revanche un point où les harde ont perdu aujourd'hui de leur intérêt. Ce sont les emplacements dits « harde ngoliirde » où le bétail vient lécher certains espaces dénudés. Il apparaît même des concrétions salées qui ont été récupérées par les hommes (31). Les herbes sont également salées comme faalaande, jeliaho, huDo mboju et niyerello, principalement autour des vastes termitières de *Macrotermitidae*. Les mares enfin sont salées,comme celle de Palama près de Dumru.

Ces harde faisaient l'objet d'enjeux importants entre villages d'éleveurs. Harde Melemel, dans la région de Mindif, attirait,outre la faune sauvage, les troupeaux de Mindif, Matfay, Mawndin, Yakang, Jappay, Kongola, Dir et Doyang. A Julguf, un harde salé entre Wuro Ibbi et Jungo recevait tous les troupeaux de Wuro Zangi, de Dargala, d'une partie de Mindif pendant la saison des pluies. Le manque d'eau fait délaisser ce harde depuis 1970. On note une diminution de ces harde ngoliirde, qui perdent leurs qualités comme à Sedek : Harde Maydokko, Harde Abukuma...

Aujourd'hui, la commercialisation du natron sur tous les marchés marginalise l'intérêt de ces harde.

CONCLUSION

Pour la gestion des harde peut-on concilier la conception des scientifiques et celle des populations ?

Harde et karal, promus termes pédologiques, géographiques et agronomiques de référence sont victimes de leur succès. L'un traduit le caractère exclusif de zone inapte à toute mise en valeur agricole; l'autre, celui de vertisol composé de 20 à 60% d'argile de type montmorillonite à fentes de retrait,ayant vocation pour la seule culture des muskuwaari.

Les populations, peules et autres, en ont une vision différente, plus souple et plus diversifiée. Elle s'exprime par une palette de sols bien définis, qui attend d'être étalonnée à l'aune du pédologue.

La connotation de harde n'est certes pas dans le Diamaré celle d'un bon sol, mais elle n'a pas non plus celle de stérilité irrémédiable que la littérature scientifique lui attribue. Quant à la « hardéisation », leitmotiv des observateurs extérieurs, qui dénoncent une menace sérieuse pour de nombreuses zones de la Province de l'Extrême-Nord, elle est peu sensible pour les populations locales. Ces dernières ne nient pas la dégradation des sols dans certaines régions et désignent parfaitement leurs causes ; ainsi à Dumru, le Yoolde Bakamco, sur la route de Kaele, est-il devenu un harde en raison de l'excès de culture cotonnière ; mais ces population n'ont pas les moyens d'envisager le phénomène sur un large espace et, a fortiori, d'en imaginer une abstraction cartographique.

Pour elles, les harde les plus anciens sont « naturels » et trouvent leur utilité dans la distribution des pâturages ou des espaces pour le bétail ou, alors, ce sont des surfaces plus récemment et momentanément perdues pour la culture, surtout les harde nés dans le cadre de la stabulation du bétail. Ils sont généralement recyclables, en partie ou en totalité, si le besoin s'en faisait sentir. Ils seraient donc à soustraire du bilan des terres définitivement dégradées.

Pour les régénérer, les recettes sont connues : retirer le bétail, pratiquer une contention de l'eau grâce à un judicieux réseau de diguettes. Seules contraintes : l'acceptation d'une discipline commune, un investissement certain et un entretien suivi. Pour qu'elle soit acceptée, la régénération doit être mise au service de cultures suffisamment attrayantes. Aujourd'hui, seuls les muskuwaari semblent pouvoir répondre à ce critère. ■

Christian SEIGNOBOS
ORSTOM, BP 406 Maroua (Cameroun)

NOTES

(1) La toponymie rend compte de cette « course » et de la lutte pour la possession de ces karal, convoités par les chefs, les riches et les démunis, les Foulbés et les non-Peuls. L'exemple de Karal Haala, « karal de la palabre », au nord-ouest de Matfay, reste le plus célèbre car il vit s'affronter, au début du siècle, les lamidats de Mindif et de Maroua. Très nombreux sont ceux qui portent le nom de Karal Dugun (« karal de la rancune ») ou de Karal Gooro (karal du bakchich) versé au chef, ou celui qui signale la nature de sa mise en valeur : jungo wooto (main/une seule) pour un groupement de cultivateurs pauvres qui n'eurent pas recours à de la main-d'oeuvre (Julguf)... Des karal appelés tuggere (pl. tugge) du nom des souches d'arbres restées en terre, généralement de *Piliostigma reticulatum*, soulignent la difficulté qu'ont les populations pour les entretenir et maîtriser le retour annuel de cette végétation buissonnante.

(2) P.BRABANT *in* : Selection of sites for the vertisols network : distinction between types of vertisols (Management of vertisols under semi-arid conditions, p. 70) distingue cinq types principaux de vertisols dans le Nord-Cameroun, deux dans les plaines alluviales et trois sur les pédiments. Toutefois, ces types eux-mêmes peuvent se subdiviser facilement en fonction de critères de variations de la couche supérieure, ce qui au total pourrait faire une douzaine de types différents (communication orale P.BRABANT).

(3) A côté de ces appellations, certains karal se réfèrent à des situations intermédiaires, voire particulières, que l'on décrit un peu différemment.
A Gawel, un mbuluum sadu est interprété comme un mbuluuwol superficiel, gris-noir, à fentes de retrait recouvrant un saDoore plus « rouge ». On doit y enfoncer légèrement le plantoir.
A Dumru, dans le karal Caabeeje (de saabeere = champ d'arachide), le muskuwaari a remplacé l'arachide qui prospérait sur cette surface sableuse sur horizons argileux.
A Wuro Zangi, on désigne un karal dunggal (croupe) qui évoque la succession régulière de creux et de bosses que forment les microreliefs de « gilga « .

(4) Ensemble de graminées dont les grains sont comestibles, dominé par *Echinochloa colona, Panicum spp., Brachiaria kotschyana, Digitaria gayana*..

(5) Hapakannde : un empan, mesure allant de l'extrémité du pouce à celle du medius, soit environ 20 à 23 cm. Le « doigt », yeftaare, souvent associé à l'empan, représente la moitié de sa mesure.

(6) Avec l'aggravation du bilan pluviométrique, certains saDoore ou saDo Bale peuvent recevoir des diguettes, comme on l'observe à Mogom depuis 1970.

(7) Si l'eau se retire trop brusquement, il faudra alors avoir recours à un sarclage ou brûler l'herbe. Ailleurs, comme à Sedek, naDDere est coupée dans l'eau, puis mise en meule. Sèchée, elle sera brûlée sur ses propres regains.

(8) Ch.SEIGNOBOS *in* : Instruments aratoires du Tchad méridional et du Nord-Cameroun *in* :Collectif Instruments aratoires en Afrique Tropicale. 1985. Cahiers ORSTOM Sc. Humaines Vol XX Nx3-4.

(9) GUIS R. — Un bilan des travaux visant à la mise en culture des sols hardé du Nord-Cameroun. Agronomie Tropicale 31 (2) 1976,p.141.

Nous renvoyons aussi à :

GAVAUD M. — Les sols du Nord-Cameroun. Mise au point bibliographique. Document ORSTOM Yaoundé 1972.

VAILLE J. — Essai de mise en valeur des sols « hardé » du Nord-Cameroun. Agronomie Tropicale 25 (5) p.473.

(10) Il s'agit là d'une note introductive pour un sujet qui demanderait un tout autre développement. Il induit une démarche pluridisciplinaire de terrain qui passe par la prospection d'inventaires des types de sols, tels qu'ils sont perçus par les populations locales. C'est un préalable essentiel à l'apréhension qu'elles ont de leurs milieux. Il s'ensuivrait une confrontation avec les grilles de classification des pédologues.
Un travail à l'initiative de géographes (ORSTOM-ISH) en étroite association avec des pédologues de l'IRA est en cours de réalisation pour une Chronique des karal de la région de Maroua.

(11) A Pette, Fadere et Balda, ici sur Yongkolde, on remarque quand même tout une panoplie de défense de ces mêmes Burguuri : oscilles, épouvantails de plumes, bandes magnétiques usagées courant entre les panicules, épines enserrant les panicules précoces, panicules enveloppées dans le « drapeau » et les premières feuilles.

(12) Le gelengdengre est un berbere (= muskuwaari) venu du Tchad, de la colonie tupuri installée à Guelengdeng. Développé dans la région de Dukula, il est remonté vers le nord en se diffusant des Tupuri vers les Foulbés. Dès 1983, il est à Matfay ; en 1985, à Mogom. En 1990, on le trouve aux portes de Maroua et Sedek le repique pour la première fois (cf. notice de la carte des sorghos dans L'Atlas de la Province de l'Extrême-Nord, Ch. SEIGNOBOS)

(13) Les références qui sont faites ne renvoient qu'aux zones où elles sont le plus cultivées. Le safra viendrait de Wuro Zangi ; le majeeri d'Yllaga (Mindif ou Binder) ; le Burgu de Pette ; le mannduwoyri de Bogo...

(14) Cette tradition de propagation du muskuwaari, qui rappelle celle d'autres sorghos, toujours trouvés dans les déjections d'éléphants chez les Musgum et les Zumaya, laisse planer un doute sur l'origine sirata ou peule du vecteur.

(15) cf. HUMBEL F.X., 1965. — Etude de sols halomorphes du Nord-Cameroun. Transformation des « hardé » par sous-solage et culture du cotonnier. ORSTOM,Yaoundé.

(16) Sur un Yongkolde exploité depuis onze ans à Fadere, nous avons mesuré des écartements plus grands encore pour le Burgu (1,20 m.) de même que sur plusieurs karal-harde de Dargala (la même année,en 1990).

(17) Les pépinières sont faites sous *Acacia albida*, sur termitières, en bordure de mayo.

(18) Sur les karal-harde à l'ouest de Maroua, en plus de *Setaria pumila* et *Loudetia togoensis*, on observe walandu (*Dactyloctenium aegyptium*), un « saDoore » (*Panicum* cf. *anabaptistum*), wuluko (*Pennicetum pedicellatum*), hoore maama (*Chloris lamproparia*), niyakabre (*Setaria verticilata*), sargarde (*Eleusine coracana*), *Panicum laetum*, *Eragrostis turgida*, *Barreria filifolia*, *Cyperus esculentus* sauvage.
Dans les petits fossés qui suivent les diguettes, où l'eau demeure plus longtemps, apparaissent ngoye (*Cyperus spp.*), un pagguri (*Echinochloa colona*) et même maaroori ladde, *Oryza barthii*.

(19) Toutefois, à Guidiguis, Kolara, Orlong, l'imbrication avec un autre type d'élevage, plus sédentaire, celui des Tupuri, entraîne une application partielle de cette discipline. Les Tupuri, quant à eux, exploitent essentiellement les karal de bas-fonds.

(20) Les régions au nord-est du Diamare, où les karal Yongkolde et Baleewal possèdent en abondance du pagguri et surtout kayaari, n'ont pas recours au muubaraawal. En revanche, si jalbataari domine, on fait appel à muubaraawal (Julguf).

(21) On repique un ou deux plants par poquet et on y verse un peu d'eau. Cette pratique intéresse tous les karal, excepté le saDoore. Sur le karal Yoolde seulement, on place d'abord le plant avant de verser l'eau, et ce en raison de la fragilité de la structure de l'excavation. Les karal-harde reçoivent la même quantité d'eau par trou que les karal.

(22) Il y a deux Karal Be'i à Wuro Zangi.

(23) Il existe des cas particuliers de passage au harde, comme à Sedek, où celui-ci est lié aux défluviations du mayo Bula. Le mayo Bula n'inonde plus depuis 1980 le yaayre Saya et, de Karal Yaayrewal, il est devenu harde. En revanche, le changement du cours a bonifié certains harde devenus, après dépôt, des Baleewal.

(24) On peut trouver aussi Beri Beri (de weringo, « creuser légèrement ») appliqué aux cupules faites dans le harde et où seront mis les plants de muskuwaari.

(25) A Balaza Lamido, nous avons observé des diguettes mises en place en 1984 sur un Yonkolde et, à Sedek, un karal désigné comme saDoore (Karal Zubamwal) est en partie occupé par des pangngalje.

(26) Kaatki est moins dangereux en période de pluies abondantes. De plus, il s'arrache alors facilement à la main. Il semblerait que la présence de ces adventices nuisibles soit plus pernicieuse vers le nord du Diamaré. On voit même apparaître arDatel et puuri dutaahi sur certains saDoore (à Fadere).

(27) Lorsque les Services des Eaux et Forêts créèrent une réserve sur le harde de Mayel Ibbe au nord de Maroua, sur la route de Gayak, vers 1960, le lamido de Maroua demanda que l'on y plantât des *Acacia nilotica* (cf. Communication de J.GUILLARD). Il y pousse aujourd'hui des neems.

(28) Il existe un Harde Gidigidiiji à Tibiri dans le canton de Dumru.

(29) Certains harde sont récupérés par les rassemblements lors des fêtes musulmanes. A Orlong, Julguf et Sedek, on note un Harde Sallaare ou Harde Juunde ; à Mindif et à Wuro Zangi, un Harde Sallikre.

(30) Communication personnelle de Paul DONFACK.

(31) Les informateurs les comparent au manda gongorosa, sorte de sel solide, qu'ils utilisaient en chiquant le tabac, comme ils le font aujourd'hui avec le natron.

ÉVALUATION DES ETATS DE SURFACE A PARTIR D'IMAGES SPOT

Le cas des sols dénudés de la région de Maroua

par Christine TRIBOULET, télédétection, ORSTOM

Sol Hardé en début de saison des pluies.

RÉSUMÉ

Cette étude a pour but de mesurer la superficie des surfaces dénudées de la région de Maroua (Nord-Cameroun) pour estimer la part occupée par les terres Hardé. A cette fin, on utilise trois images Spot XS, de janvier 87, octobre 88 et novembre 88.

Toutes les surfaces dénudées ont des caractéristiques communes qui sont reflétées par la signature radiométrique. L'une de ces surfaces est choisie comme référence pour identifier les valeurs radiométriques des pixels qui la composent. On procède ensuite à une partition de l'ensemble des pixels qui constituent chaque image en séparant ceux qui ont une signature identique, ou voisine, de ceux de la zone de référence. Par traitement, les pixels ainsi mis de côté sont dénombrés et, leur surface unitaire étant connue, la superficie totale dénudée de la région en est déduite. On peut alors procéder à des comparaisons de superficies par date. Par ailleurs, on peut représenter sur une carte tous les pixels correspondant aux surfaces dénudées.

Il faut tenir compte des variations de superficie issues de changements temporaires ou de certaines confusions possibles. C'est ainsi que, bien évidemment, la superficie des surfaces dénudées est bien plus importante en fin de saison sèche qu'en fin de saison des pluies, surtout lorsque celle-ci a été favorable à la recolonisation partielle des sols Hardé par la végétation herbacée. Le rapport de superficie entre les sols dénudés et la superficie totale est de 13 % en janvier 87, de 3,5 % en octobre 88 et de 5,4 % en novembre 1988.

Par ailleurs, différents types de sols peuvent avoir des états de surface dénudés et une signature radiométrique identique à celle des sols Hardé, à condition qu'ils aient été compactés en surface (pistes de troupeaux,...) et qu'ils soient de couleur claire très réfléchissante. Mais si les images Spot ne permettent pas actuellement de cartographier toutes les surfaces Hardé et uniquement celles-ci, elles permettent d'en faire une bonne estimation, en particulier lorsque vient de finir la saison des pluies.

Sur la région couverte par l'image Spot, d'une superficie de 330 000 ha, le pourcentage de sols Hardé a été estimé à 5,5 %, ce qui correspond à 18 000 ha.

Dans l'avenir, il serait possible de faire un suivi pluriannuel des surfaces de sols Hardé en effectuant une étude sur leur localisation, leur évolution et leur dynamique spatiale par rapport aux activités humaines (villes et villages, pistes à bétail, mises en culture) et aux groupes pédologiques.

ABSTRACT

The objective of this study was to measure the surface area of bare soils in the Maroua region (Northern Cameroon) in order to estimate the land portion occupied by Hardé soils. Three Spot XS-band imagery of January 1987, October 1988 and November 1988, were used.

All the bare areas have common characteristics which are reflected by radiometric signs. One of these areas is taken as a reference point for the identification of the radiometric value of the pixels of which it is composed. One then proceeds with the distribution of all the pixels which make up each image by separating identical or near identical pixels from those of the reference point zone. By classification, the pixels thus selected are counted, and because their unit surface area is known, the total surface area of the bare soils of the region is determined. One can then proceed to compare bare areas by date. On the other hand, all the pixels corresponding to areas without vegetation can be represented on a map.

Surface area variation due to temporal changes or to certain possible error must be taken note of. This is why the area not covered by vegetation is greater at the end of the dry season than at the end of the rainy season, especially if the area in question had earlier been favoured by a partial recolonization of the Hardé soils by herbaceous vegetation. The land area relationship between bare soils and the total surface area was 13% in January 1987, 3.5% in October 1988 and 5.4% in November 1988.

On the other hand, different types of soil could possess a bare condition and have an identical radiometric sign to that of Hardé soils if only such soils had been compacted on the surface (animal passage,...) and are of a clear, very reflectant colour. But even if spot images do not actually permit a complete cartography of Hardé, the images allow us to have a good estimation, especially immediately after the rainy season.

On the region covered by Spot images (surface area of 330,000 ha) the percentage of Hardé soils had been estimated at 18,000 ha.

In the future, it would be possible to have a multiannual follow up of the surface of Hardé soils through a study of their location, evolution and spatial dynamic activities with respect to human activities (townships and villages, cattle passages, recultivation) and with respect to soil types.

Cette étude a pour objectif, en premier lieu, d'extraire de l'image, par des mesures radiométriques, les sols qui correspondent à des états de surface dénudés pour cartographier et essayer d'estimer les pourcentages des terres Hardé.

Ensuite, elle évalue les superficies couvertes par ces sols dénudés pour suivre leur évolution dans le temps.

Trois images ont été exploitées, qui correspondent aux dates suivantes : 15 janvier 1987, 11 octobre 1988, 11 novembre 1988.

Sur le terrain et sur l'image, la surface dénudée, dite « hardé de Balaza », qui se trouve en bordure de la piste reliant Balaza-Lamido (route Maroua-Bogo) au dôme de Djoulgouf, est utilisée comme référence. C'est une très grande surface dénudée (3 km de long sur 800 m de large environ), facilement repérable sur l'image satellite (tirage photo ou visualisation sur écran). Elle est indiquée par deux flèches sur la composition colorée n° 1, p. 34.

La démarche suit trois étapes :

- Identifier les valeurs radiométriques des surfaces dénudées.
- Isoler ces surfaces sur les trois images.
- Mesurer l'extension de ces surfaces pour les comparer entre elles.

IDENTIFICATION DES VALEURS RADIOMÉTRIQUES

Chaque « objet » (constituant du paysage), présent à la surface du sol, réfléchit une certaine quantité de l'énergie lumineuse qu'il reçoit. Le satellite émet une quantité donnée d'énergie et enregistre le pourcentage qui lui revient. Cette énergie lumineuse est convertie en énergie électrique, elle-même codée et stockée plus tard sur des bandes magnétiques.
C'est cette énergie électrique codée, composée de trois chiffres, que l'on appelle signature radiométrique. Une signature correspond à un objet donné, dans un état donné et à un moment donné.

Les trois chiffres qui composent la signature sont compris entre 0 et 255. Ce sont les réponses des objets dans les longueurs d'onde des trois canaux Spot:

- Canal XS1 0,5 à 0,59 nm longueur d'onde du vert.
- Canal XS2 0,61 à 0,68 nm longueur d'onde du rouge.
- Canal XS3 0,79 à 0,89 nm longueur d'onde du proche infrarouge.

Il existe plusieurs types de sols qui présentent des états de surface dénudés : les planosols, les vertisols dégradés et les sols qui ne sont compactés qu'en surface (pistes d'atterrissage non goudronnées, grands passages de troupeaux, terrains de football, etc.).

Malgré leurs différences pédologiques et les processus qui ont donné cet état de surface, celui-ci présente certaines caractéristiques communes aux trois catégories énumérées ci-dessus :

- surfaces très réfléchissantes ;
- surfaces dures, nues, très planes, sans fentes de retrait ;
- et, en général, surfaces de couleur claire (à l'état sec).

La signature radiométrique des surfaces dénudées reflète ces caractéristiques et ne prend pas en compte les données concernant les couches non superficielles du sol.

On peut se reporter, pour comparaison, aux courbes correspondant aux signatures d'un état de surface dénudé et d'une surface couverte par de la végétation active (cf. tableau I et fig. 1, p. 32).

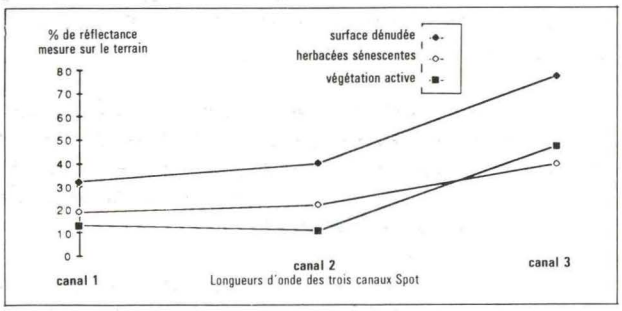
Cette signature, enregistrée par le satellite et codée sur les bandes magnétiques, peut également être enregistrée au sol, à l'aide d'un radiomètre de terrain de type Cimel (radiomètre portable, étalonné sur les longueurs d'onde de Spot, cf. photo, p. 36).

TABLEAU I

Mesures des pourcentages de réflectance dans les longueurs d'onde des trois canaux Spot Mesures sur le terrain

	Canal 1	Canal 2	Canal 3
Surface dénudée	32	40	78
Herbacées sénescentes	18,9	22	40
Végétation active	13,21	10,7	47,8

FIGURE 1
Signatures spectrales des différents composants d'un paysage où dominent les sols Hardé

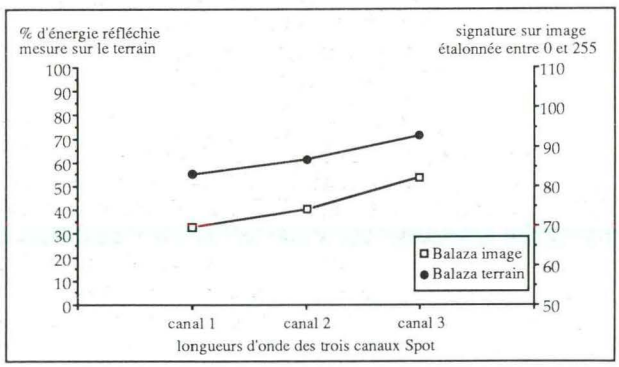


Ci-dessous, pour comparaison, les signatures du sol Hardé de Balaza selon le satellite (mesure sur image) et selon le radiomètre de terrain.

TABLEAU II

Comparaison de la réponse spectrale du sol Hardé de Balaza sur le terrain et sur l'image

Canaux	XS1	XS2	XS3
Balaza image	83	87	92,75
Balaza terrain	32,4	40,2	53,5



Le décalage entre les deux signatures résulte de différences techniques. Il est dû à la taille du champ de vision du capteur, beaucoup plus réduit dans le cas du Cimel, et donc de la quantité d'objets constituant le paysage, pris en compte lors de l'enregistrement de la signature. La date de mesure doit également jouer.

ISOLEMENT SUR IMAGES DES SURFACES DÉNUDÉES

Ayant repéré les valeurs numériques qui composent la signature du sol Hardé de Balaza-Lamido sur les bandes magnétiques, on procède, avec un programme de l'ordinateur de traitement d'images, à une partition de l'ensemble des points codés qui constituent l'image : les pixels (pixel = contraction de « picture element », c'est-à-dire élément d'image élémentaire).

Une image entière compte environ 3 000 lignes et 3 000 colonnes (selon l'angle de prise de vue) et donc 10 millions de pixels.

Nous travaillons sur trois images, pour éviter les phénomènes momentanés, et leur comparaison n'est possible que si elles ont rigoureusement les mêmes limites et le même nombre de pixels.

Après les corrections géométriques nécessaires à ces comparaisons, et avec la perte d'informations que cela suppose (redécoupage des bords), nos images comptent maintenant 2 973 lignes et 2 776 colonnes, soit 8253048 pixels ou 330 122 hectares

En même temps que la partition citée ci-dessus, on effectue une modification des valeurs de ces pixels pour changer leur aspect sur la visualisation écran.

On souhaite obtenir une image binaire (bicolore), noire et blanche (ou blanche + 1 couleur), qui corresponde aux classes : sols plus ou moins couverts par de la végétation,sols dénudés. Pour cela, on attribue aux pixels ayant une signature de type sols nus (73 à 255), la valeur 255 : c'est à dire blanc ; à tous les autres, la valeur 0 qui les fait apparaître en noir.

FIGURE 2
Comparaison des courbes de signature du sol Hardé de Balaza sur le terrain et sur l'image

MESURE DE L'EXTENSION DES SURFACES DÉNUDÉES

Le programme de traitement permet d'obtenir un histogramme des fréquences des valeurs, sur lequel est indiqué le nombre total de pixels attribués à chacune des deux couleurs.

La surface d'un pixel de Spot étant de 20 mètres sur 20 (en mode multispectral), soit 400 m^2, on peut en déduire la superficie totale des états de surface ayant une signature de type sols nus.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

■ Calcul des superficies

Les superficies dénudées ou non, aux trois différentes dates, sont présentées dans le tableau III.

TABLEAU III

Superficies des états de surface ayant une signature de sols nus

XS2	Janvier 1987	Octobre 1988	Novembre 1988
Nombre total de pixels	8 253 048	8 253 048	8 253 048
Superficie totale image (ha)	330 122	330 122	330 122
Nombre de pixels blancs	1 074 749	285 398	448 205
Superficie dénudée (ha)	42 990	14 416	17 928
Nombre de pixels noirs	7 178 299	7 967 650	7 804 843
(dont nuages)	0	9 077	0
Superficie non dénudée (ha)	287 132	318 706	312 193
Rapport de superficie sols dénudés/ superficie totale	13 %	3,46 %	5,43 %

Ces superficies sont cependant à réviser légèrement à la baisse, principalement en janvier et novembre, pour prendre en compte la marge d'erreur due aux rivières asséchées (mayos) dont les lits ont une signature spectrale identique à celle des sols Hardé. Sols Hardé et fonds de mayos ont, en effet, certaines caractéristiques d'état de surface en commun : leur couleur claire et réfléchissante, leur absence (totale pour les mayos et quasi totale pour les sols Hardé) de végétation, l'absence de fentes de retrait qui pourraient engendrer des ombres, etc. Ce sont ces caractéristiques communes, en saison sèche, qui sont cause de la confusion.

La distinction serait toutefois possible, en saison des pluies, lorsque tous les mayos sont en eau : l'eau absorbe l'énergie lumineuse et les mayos ressortent alors dans les valeurs basses.

Nous ne disposons pas ici d'image enregistrée en cours de saison des pluies, susceptible de nous permettre de lever cette ambiguïté des signatures.

Mais puisque la surface des mayos ne varie pas, ou très peu, d'une année sur l'autre, ou d'un bout à l'autre de la saison sèche, cette confusion ne nous empêche pas de mesurer l'évolution, aux différentes saisons, des superficies dénudées ; les rapports seront comparables entre eux.
Les différences entre les rapports de superficie (sols dénudés/non dénudés) sur les images étudiées ont plusieurs origines:

• **Les changements saisonniers** : au fur et à mesure que progresse la saison sèche, les surfaces dénudées augmentent, ce qui est dû à la sénescence, puis à la disparition de la strate herbacée. Celle-ci est en particulier favorisée par le pâturage.

• **Des changements annuels** : la forte saison des pluies de 1988 (832 mm) explique la diminution des surfaces dénudées par rapport à l'année précédente, plus sèche (597 mm en 1987).

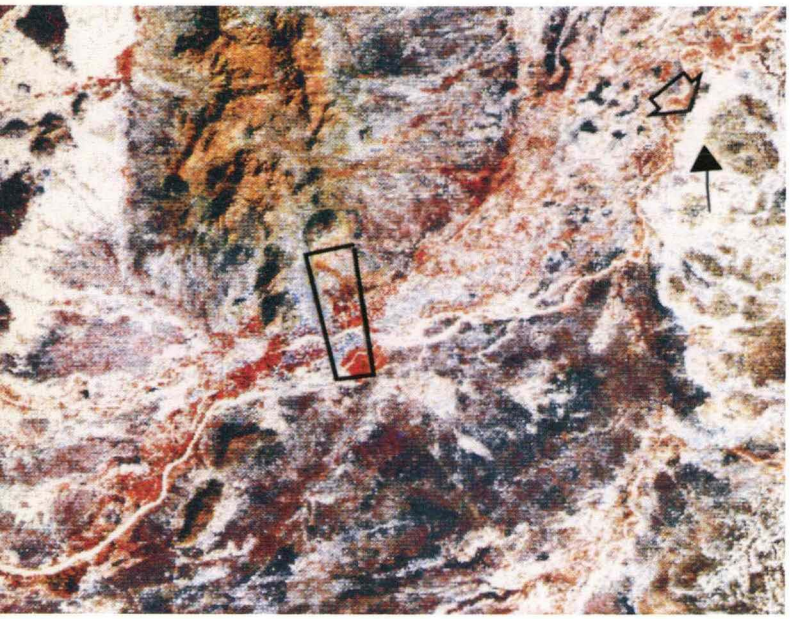
C'est ainsi qu'ont été observées, en 1988 et 1989, des remises en cultures de surfaces abandonnées au cours des années précédentes.

Pour un suivi exact des surfaces dénudées, il faudrait, chaque année :

• une image de fin de saison des pluies (si possible toujours à la même date) ;

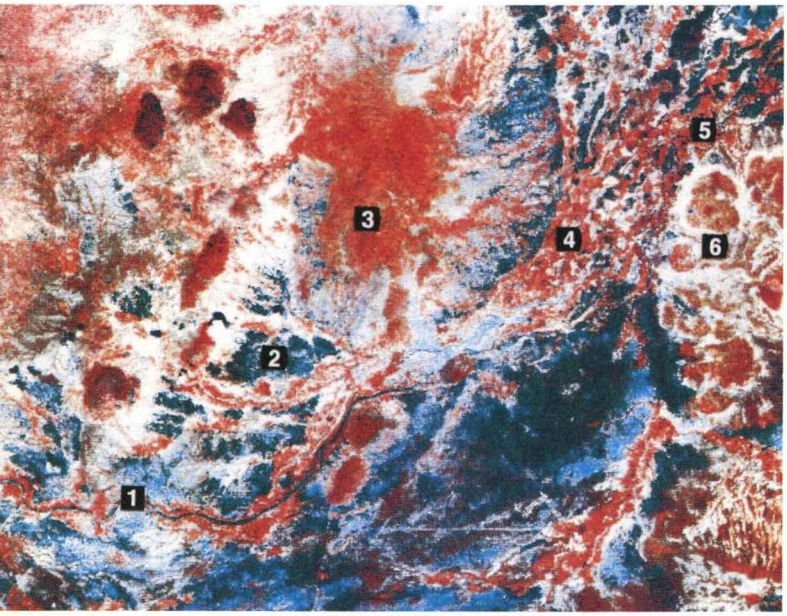
• une image, enregistrée en cours de la même saison des pluies, pour « sortir » les superficies en eau et rectifier les résultats obtenus.

L'acquisition annuelle permettrait de poursuivre cette étude sur l'évolution des superficies dénudées dans le temps par une étude sur leur localisation, leur évolution et leur dynamique spatiale. Par « dynamique spatiale », nous entendons l'extension ou la réduction de ces surfaces, en relation avec la localisation des villes, les formes édaphiques, la proximité des terrains cultivés ainsi que les zones pastorales et les aires de passage du bétail.

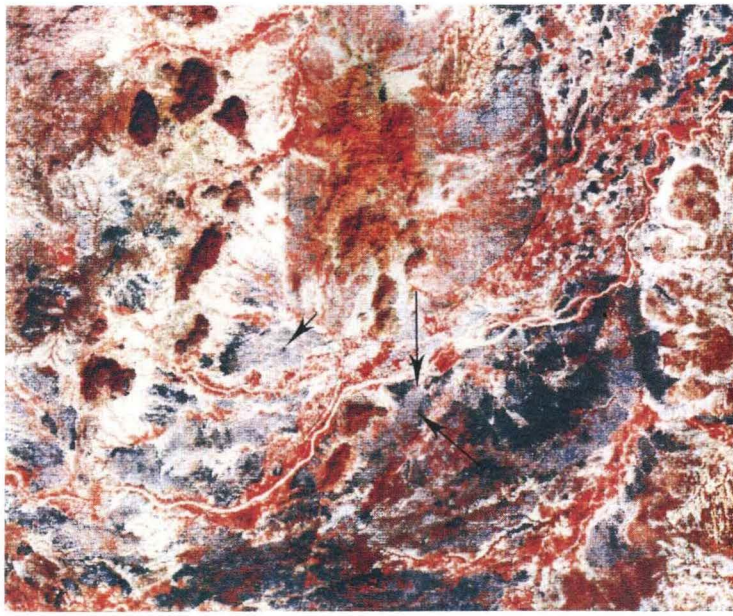


Composition colorée n° 1
Région de Maroua, janvier 1987. Les flèches indiquent les sols Hardé de Balaza.

Photo aérienne du petit rectangle entouré en noir sur la composition colorée n° 1. Sur celle-ci les forêts et boisements urbains apparaissent en rouge, les toits de tôle des quartiers sans arbres en bleu, la colline en brun et les zones dénudées en blanc, y compris le lit sableux des rivières asséchées.



Composition colorée n° 2
Région de Maroua, octobre 1988 : la partie d'image couvre environ 40 × 60 km. Nous sommes en début de saison sèche. En bleu, les zones qui absorbent l'énergie lumineuse. Il s'agit des rivières qui sont encore en eau, comme le Mayo Tsanaga (1) et des parties qui viennent d'être brûlées avant repiquage du sorgho « muskwari » (2). Les zones couvertes de végétation encore verte apparaissent en rouge : il s'agit, en particulier, des collines couvertes de boswellia (3), des piémonts occupés par le parc à faidherbia (4) et des vallées où l'on trouve des vergers et des jardins maraîchers (5). Les zones dénudées qui réfléchissent la lumière sont en blanc (6).



Composition colorée n° 3
Région de Maroua, novembre 1988 : si on compare cette image à celle d'octobre 1988, on constate une atténuation du rouge qui correspond au dessèchement de la végétation, sauf le long des vallées (vergers, champs d'oignons irrigués, parcs à faidherbia). Les grosses taches bleues se sont piquetées de rouge et sont ainsi devenues violettes, le sorgho « muskwari » s'est en effet développé. Sur vertisol (karal); il apparaît en mauve foncé (flèches longues) ; sur sols Hardé (karal-hardé), en mauve clair (flèche courte).

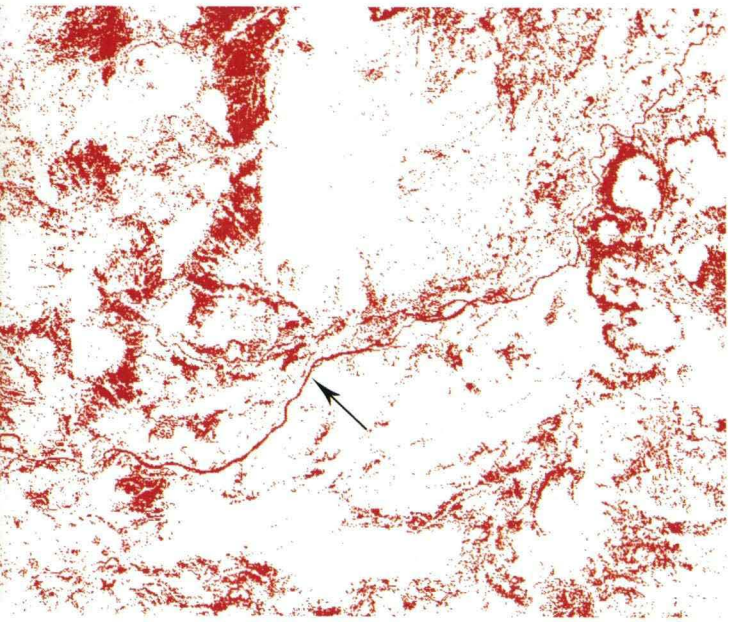


Image bicolore n° 1
Région de Maroua, janvier 1987 : réprésentation obtenue à partir de la composition colorée n° 1, en imprimant en rouge les pixels qui correspondent aux surfaces dénudées, les autres étant laissées en blanc. On reconnaît le tracé du mayo Tsanaga (flèche), dont le lit sableux et desséché a une signature comparable à celle des sols Hardé.

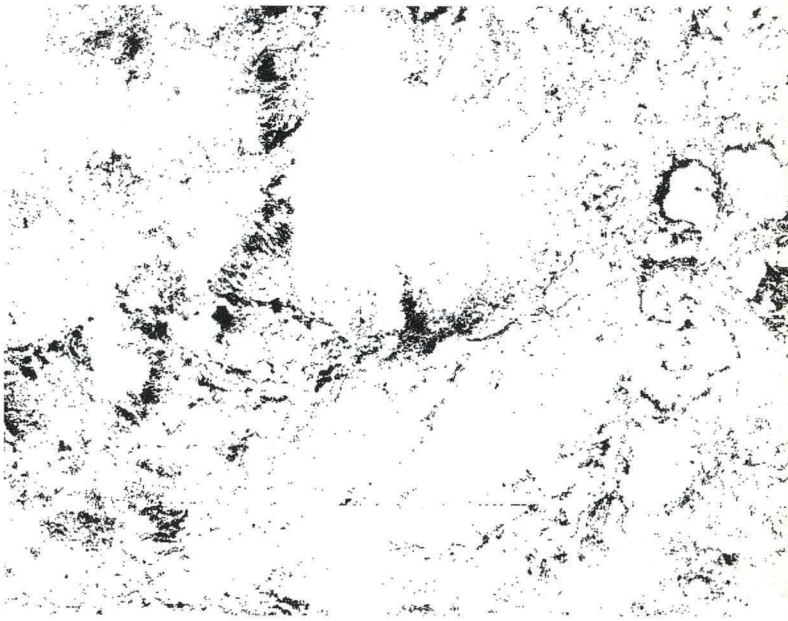


Image bicolore n° 2
Région de Maroua, octobre 1988 : représentation obtenue à partir de la composition colorée n° 2, en imprimant en noir les pixels correspondant aux surfaces dénudées. En cette fin de saison des pluies, on peut considérer qu'il ne s'agit que des sols Hardé. Mais une partie d'entre eux qui sont couverts d'une fine végétation ne sont pas pris en compte. En faisant un comptage automatique de ces pixels, on obtient une valeur minorée de la surface occupée par les sols Hardé. Par rapport à l'image bicolore n° 1, les lits des rivières ont disparu. Le sol Hardé en « forme de trèfle », visible en haut à droite, entoure le dôme de Balaza.

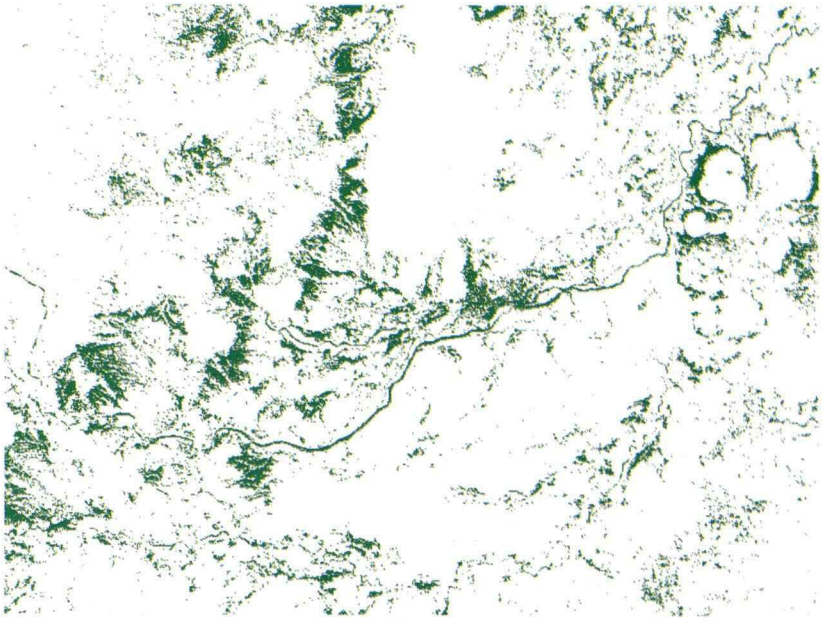


Image bicolore n° 3
Région de Maroua, novembre 1988 : représentation obtenue à partir de la composition colorée n° 3, en imprimant en vert les pixels correspondant aux surfaces dénudées. Par rapport à l'image bicolore n° 2, le nombre de ceux-ci est passé de 285 000 à 450 000 (sur l'ensemble de l'image Spot, dont on ne représente ici que les 2/3). D'une part, les rivières se sont asséchées et ressortent parmi les zones nues. D'autre part, le bétail et le feu ont éliminé la maigre végétation des terres Hardé qui en étaient encore recouvertes. C'est à cette époque qu'il est le plus réaliste d'estimer les surfaces. Ici, elles représentent 18 000 ha, soit 5,5 % de la surperficie couverte par toute l'image.

■ **Résultats graphiques**

Nous avons présenté pp. 34 et 35 trois compositions colorées et trois images bicolores:

• **La composition colorée n° 1** est une composition standard, c'est-à-dire que le canal 1 est en bleu, le canal 2 est en vert et le canal 3 est en rouge.

• **Les images bicolores** représentent les zones sans végétation aux trois dates dont nous disposons.

On notera la « rétraction » des superficies dénudées entre les mois de janvier et octobre, due à l'arrivée de la saison des pluies et aussi à l'abondance des précipitations cette année-là.

Octobre est le mois où les superficies sans végétation sont les moins importantes. A cela trois raisons :

• la saison des pluies, qui a relancé la croissance de la végétation herbacée ;

• les cultures de saison des pluies, qui commencent à être suffisamment couvrantes pour influencer la réponse des sols cultivés ;

• enfin, le défrichement et le brûlis, à cette époque, des dernières parcelles à être mises en culture (celles destinées au repiquage du muskwari) car leur surface noire est alors très absorbante.

L'utilisation des images Spot ne permet pas de cartographier exactement les terres Hardé (toutes les terres Hardé et seulement les terres Hardé). Elles peuvent cependant être utilisées pour cartographier et mesurer la superficie des sols dépourvus de végétation, ce qui peut constituer une estimation de la superficie des terres Hardé.

Sur la région couverte par l'image Spot, la superficie des sols dénudés varie de 14 500 ha (octobre 1988) à 43 000 ha (janvier 1987). Celle des terres Hardé est comprise dans cette fourchette. A notre avis, une bonne estimation est cependant donnée par la superficie mesurée en octobre 1988, période à laquelle le très léger tapis de graminées qui recouvre les terres Hardé a, en général, disparu. Leur superficie serait alors de 18 000 ha, ce qui représente 5,5 % de la superficie couverte par l'image. ■

N.B. Le trait horizontal qui apparaît sur les documents du mois d'octobre est un défaut d'enregistrement du satellite.

Christine TRIBOULET
ORSTOM, 70-74, route d'Aulnay
93143 Bondy (France)

Enregistrement de la signature radiométrique d'un sol dénudé (à gauche) ou en culture irriguée (à droite) à l'aide d'un radiomètre Cimel, manipulé à 6 m du sol.

HYDRODYNAMIQUE D'UN SOL HARDÉ DU NORD-CAMEROUN

Caractéristiques et comportement

par Lamine SEINY-BOUKAR, pédologue, IRA
et Roger PONTANIER, pédologue, ORSTOM

Les forts ruissellements constatés sur Hardé entraînent la formation de griffes d'érosion et causent des inondations en aval des bassins, même de taille modeste.

RÉSUMÉ

Les sols Hardé sont dérivés de vertisols aux caractéristiques très homogènes sur l'ensemble du profil (40 % d'argile smectitiques, pH neutre, 0,8 % de matière organique, CEC de 35 meq/100 g). Ils se distinguent de ceux-ci par la dégradation de l'horizon superficiel sur une profondeur de 10 à 20 cm ; cette dégradation se manifeste par une structure massive et l'absence de pores et d'activité biologique. En surface, la pellicule de battance est renforcée par une couche d'algues de couleur sombre. Dans cet horizon dégradé, les fentes ont disparu, la teneur en argile est proche de 10 %, la matière organique en relation avec la disparition de la végétation tombe à 0,5 % et la capacité de stockage de l'eau, disponible pour la végétation, à 7 mm pour 10 cm de sol (contre 20 mm pour le vertisol). L'érosion dégage parfois 1 m de sol jusqu'à atteindre l'horizon calcique à nodules calcaires.

La technique de simulation de pluie a permis de déterminer en mode synchrone les quantités d'eau infiltrées et le coefficient d'efficacité de la pluie dans la recharge des réserves en eau du sol.

Par ailleurs, des suivis pluriannuels en mode diachrone permettent de mesurer en conditions naturelles les lames d'eau ruisselées, la quantité d'eau infiltrée, ainsi que la redistribution spatiale et temporelle de l'eau du sol par la méthode des profils hydriques (sonde à neutrons).

On voit ainsi que les sols Hardé perdent jusqu'à 50 % d'eau par ruissellement sur une année ; de ce fait, en année déficitaire, ce ne sont que 250 mm d'eau qui s'infiltrent. Pour des pluies très violentes, l'infiltration baisse jusqu'en dessous de 30 %.

L'humectation des sols Hardé dépasse rarement 25 cm et leur stock d'eau augmente en général de moins de 25 mm pendant une saison des pluies (soit quatre fois moins que le vertisol). C'est ainsi que les sols Hardé offrent rarement plus de deux à trois mois de disponibilité en eau pour la végétation, chaque année, sur l'ensemble de leur profil alors que les vertisols offrent en permanence quelques réserves disponibles en profondeur.

ABSTRACT

Hardé soils are derivatives of vertisols, of very homogeneous characteritics through the entire profile (40 % smectitic clay, neutral pH, 0,8 % organic matter, CEC of 35 meq/100g). The difference between the two is the superficial degradation of the horizon of the Hardé soil to a depth of 10 to 20 cm usually seen as a massive structure with neither pores nor any biological activity. On the surface, a film of compact material is reinforced by a dark colour layer of algi. All cracks have disappeared from this degraded horizon and clay content is close to 10 %. The organic material content is reduced to 0.5 % while the available water retention capacity for the vegetation drops to 7 mm/10 cm of soil (as opposed to 20 mm to 10 cm for vertisols). Sometimes erosion takes away up to 1 m of the soil to reach the calcic nodulous horizon.
The rainfall simulation technique was used to determine, in a synchronous mood, the amount of infiltrated water and the rainfall efficiency coefficient in the recharge of soil water reserves.

On the other hand, a diachronous pluriannual follow up under natural conditions makes it possible to measure water runoff, infiltration, and the spatial and temporal soil water redistribution using the water profile method (gamma neutron probe).

The results of this study showed that Hardé soils could lose up to 50 % of their water annually through runoff. As a result of this, only 250 mm of water infiltrate during a year of insufficient rainfall. During violent rainfalls, infiltration could even drop below 30 %.

The depth of moistened Hardé soils scarcely goes beyond 25 cm and the water stock increase of these soils is generally less than 25 mm through out the rainy season. This is 4 times less than the case of vertisols. This explains why Hardé soils rarely have more than 2 to 3 months of available water in their profile for the vegetation each year while vertisols permanently have some water reserves available in the deeper layers of the soil.

Nous présentons ici les résultats d'une recherche entreprise dans le Nord-Cameroun, concernant la caractérisation des propriétés physico-hydriques et du régime hydrique d'un sol Hardé assez répandu dans le Nord-Cameroun. Celui-ci, représentatif du faciès extrême de dégradation des vertisols à pédoclimat sec (Unité cartographique n° 29, BRABANT et GAVAUD, 1985, et Série Boboyo, MARTIN, 1963), qui couvrent une superficie de 170 000 ha dans la province de l'Extrême-Nord, a été étudié dans la zone test de Mouda où il a déjà fait l'objet d'études pluridisciplinaires (PONTANIER *et al*, 1985 ; CCE, 1988 ; THEBE, 1987 ; SEGHIERI, 1990 ; SEINY-BOUKAR, 1990). Le sol de ces milieux Hardé, caractérisés par une végétation principalement herbacée très clairsemée, uniquement présente en saison des pluies, et un peuplement ligneux extrêmement faible et dispersé, se singularise par un dysfonctionnement hydrique très prononcé. Il en résulte une forte perte des eaux de surface par ruissellement, une faible pénétration de l'eau à l'intérieur du profil et une forte reprise par l'évaporation de l'eau infiltrée ; on doit noter, par ailleurs, une très forte sensibilité à l'érosion hydrique de ce type de sol. Nous n'aborderons pas ici les causes et raisons principalement d'origine anthropique, qui ont conduit à une telle dégradation de ces savanes sur vertisol en bon état car elles ont été présentées par ailleurs (SEGHIERI, 1990 ; DONFACK, *in* : CCE 1988). Notre propos consiste donc ici à présenter brièvement les traits les plus originaux de ce type de sol, que les paysans, dans un avenir proche, devront réhabiliter en raison d'une pression sur les terres sans cesse croissante (MASSE, *et al.*, 1990). Les résultats mis en avant ici ont été collectés entre 1985 et 1987. Nous tenterons, chaque fois que possible, de les comparer à ceux du faciès non dégradé de la série des vertisols.

LES CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DU SOL HARDE

La figure 1, p. 41, montre les caractéristiques physico-hydriques principales du sol Hardé de Mouda. Ce sol est hérité des vertisols à pédoclimat sec, dont les caractéristiques analytiques présentent une grande homogénéité sur l'ensemble du profil en ce qui concerne la texture (40/45 % d'argiles smectitiques), le pH voisin de la neutralité, la matière organique (0,8 à 1 %) et la CEC proche de 35 meq/100 g. En saison sèche, ce sol est caractérisé par de larges fentes en surface. Le sol Hardé se distingue de ce dernier par la dégradation et la troncature de l'épipédon ; la profondeur atteinte par la dégradation est le plus souvent comprise entre 10 et 20 cm et se manifeste par une structure massive, l'absence de pores et d'activité biologique. En surface, la pellicule de battance est presque généralisée, souvent renforcée par une couche d'algues (cf. photo, p. 42). Dans cet horizon dégradé, où les fentes ont disparu, la teneur en argile n'est plus que de 10 à 15 % , la matière organique en relation avec la disparition de la végétation devient moins abondante (0,4-0,5 %). Toujours dans cet horizon superficiel, la capacité de stockage de l'eau disponible pour la végétation (point de flétrissement à -1,6 Mpa) devient faible : 7 mm pour 10 cm de sol contre 15 à 20 mm pour le faciès non dégradé. Les indices de l'érosion en nappe sont apparents, la troncature du sol peut atteindre, et mettre à nu, l'horizon calcique à nodules calcaires qui se trouve souvent au-delà d'un mètre dans le faciès en bon état.

COMPORTEMENT HYDRIQUE DU SOL HARDE

Deux approches méthodologiques complémentaires ont été utilisées pour déterminer les caractéristiques principales du comportement hydrique du sol Hardé.

- La première a fait appel aux techniques de la simulation de pluie (ASSELINE et VALENTIN, 1978 ; CHEVALIER, 1982 ; PONTANIER, *et al.* 1985 ; TREVISAN, 1986 ; ESCADAFAL, 1989) et a permis de déterminer, en mode synchrone, les quantités d'eau infiltrées ou le coefficient d'efficacité de la pluie dans la recharge des réserves en eau du sol (KE %).

- La deuxième a consisté à mesurer par des suivis pluriannuels, en mode diachrone et sous conditions naturelles, les lames annuelles ruisselées et la quantité d'eau infiltrée ; de plus, elle a permis de suivre la

redistribution spatiale et temporelle de l'eau du sol par la méthode des profils hydriques mesurés à la sonde Solo 25.

■ Reconstitution des réserves en eau du sol

C'est l'un des aspects essentiels du comportement hydrique du sol ; celui-ci dépend de l'état de surface (CASENAVE et VALENTIN, 1989), du couvert végétal et de l'état d'humectation du sol.

Ainsi, sur de petites parcelles de ruissellement de 1 m^2 installées sur le sol Hardé, suivies durant deux saisons des pluies (1986 et 1987), a-t-on pu établir, pour 49 événements représentant 90 % environ des hauteurs précipitées au cours des deux années, les corrélations suivantes :

- **Avant le 1er août** :

(1) $LR = 0{,}43\ PU + 0{,}25\ IK - 6{,}89 \quad (r^2 = 0{,}88)$

- **Entre le 1er et le 31 août** :

(2) $LR = 0{,}35\ PU + 0{,}24\ IK - 4{,}44 \quad (r^2 = 0{,}86)$

- **Après le 31 août** :

(3) $LR = 0{,}47\ PU + 0{,}17\ IK - 5{,}28 \quad (r^2 = 0{,}92)$

Avec :

LR = Lame ruisselée (mm)
PU = Pluie totale précipitée (mm)
IK = Indice d'humectation de Kohler (*in* THEBE, 1987), calculé de la façon suivante :

(4) $IKn = (IKn\text{-}1 + Pn\text{-}1)\ e^{-\alpha t}$

où :

IKn-1 = indice d'humectation avant la pluie n
Pn-1 = hauteur de la pluie précédant la pluie n (mm)
t = temps en jours et fractions de jour séparant la pluie n et la pluie n-1
α = coefficient de calage (α = 0,5 dans notre cas)

Ces résultats obtenus en mode diachrone montrent qu'à l'échelle de l'année, les sols Hardé peuvent perdre de 40 % à 50 % d'eau par ruissellement [équations (1) et (3)] et que, pour certaines années très déficitaires, ce sont seulement 250 à 350 mm qui s'infiltrent dans ce sol Hardé.

Les valeurs d'eau infiltrée dans le sol, mesurées en mode synchrone lors des différentes campagnes de simulation de pluie, confirment ces chiffres ; en effet, pour des séquences de pluies de récurrence d'une année sur dix environ, la lame d'eau infiltrée dans le même sol Hardé ne représente que 30 % de l'eau précipitée (P = 112 mm) dont la moitié avec une intensité supérieure à 70 mm/h (PONTANIER *et al*, 1985 ; THEBE, 1987).

■ L'évolution des réserves hydriques dans le sol et le temps

Au cours des années d'observation, jamais nous n'avons vu un sol Hardé d'origine vertisolique s'humecter au-delà de 25 à 30 cm, ni le stock d'eau totale augmenter de plus 25 mm. Si l'on prend comme référence le vertisol non dégradé, dont le sol Hardé est issu par détérioration, on constate que le premier peut s'humecter jusqu'à 70 cm et qu'il peut surtout accroître, au cours de la saison, son stock d'eau très au-delà de 100 mm, soit quatre fois plus que celui du sol Hardé.

On peut voir, sur la figure 2, les évolutions comparées des profils hydriques du vertisol non dégradé et du sol Hardé et, sur la figure 3, celles des réserves en eau totale.

■ Les disponibilités en eau pour la végétation

Du concept du continuum sol-plante-atmosphère de PHILIP (1966), on retiendra la notion de disponibilité en eau ; celle-ci s'exprime par :

(5) $Rd = \int_0^z (Hi - HpF)\ dz$

où :

Hi = humidité volumique du sol à l'instant i de la tranche de sol dz
HPF = humidité volumique équivalente au point de flétrissement

HILLEL (1974), FLORET et PONTANIER (1982), CHAIEB (1989) font remarquer que si, habituellement, on retient comme valeur limite du point de flétrissement, l'eau qui est à un potentiel de Φ = -1,6 mPa, il existe de nombreuses espèces en zone aride dont le point de flétrissement est beaucoup plus bas ; néanmoins, nous retiendrons ici cette valeur.

C'est ainsi que le sol Hardé, tant pour l'horizon 0-40 cm que pour la tranche de sol 0-80 cm, offre rarement plus de deux à trois mois de disponibilités en eau pour la végétation, alors que le vertisol non dégradé dont il est issu présente, lui, cinq à six mois de disponibilités dans la tranche 0-40 cm et douze mois sur l'ensemble du profil (réserve disponible permanente en profondeur).

FIGURE 1
Caractéristiques physico-hydriques du sol Hardé d'origine vertisolique de Mouda

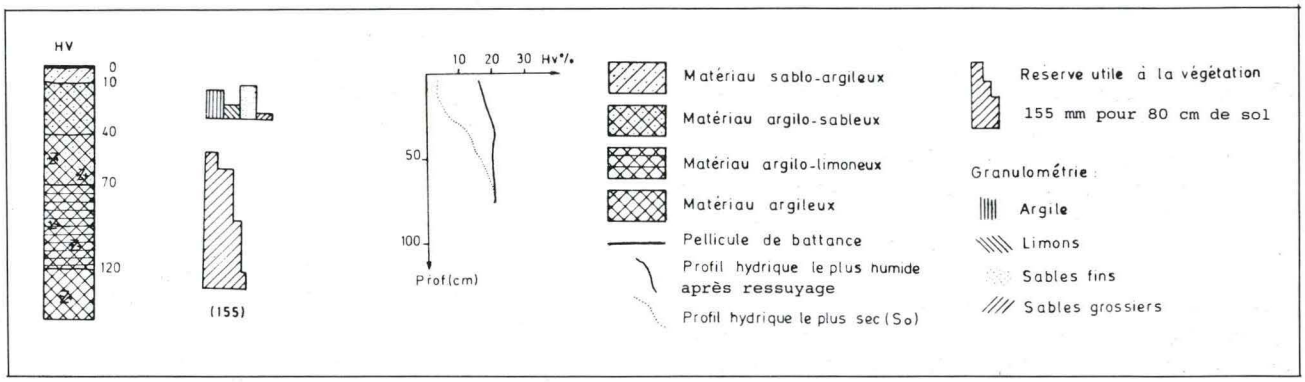


FIGURE 2
Comparaison au cours de l'année 1986 des profils hydriques d'un vertisol et de son faciès de dégradation (Hardé)

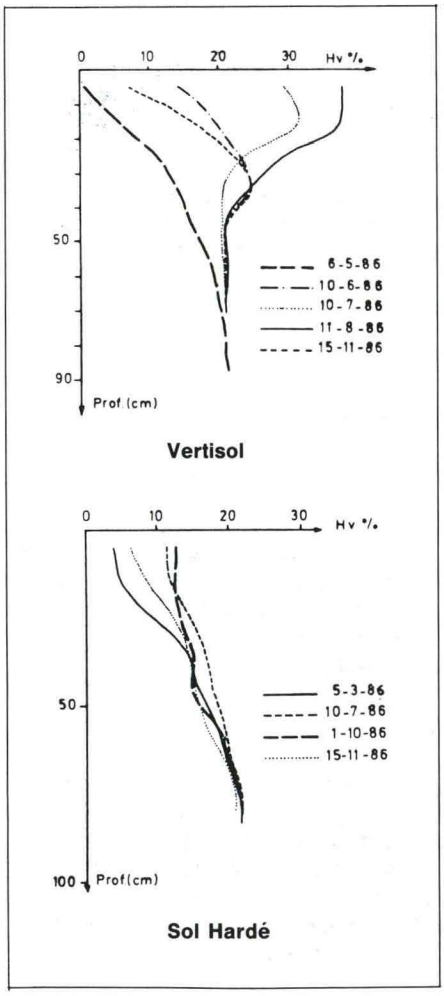
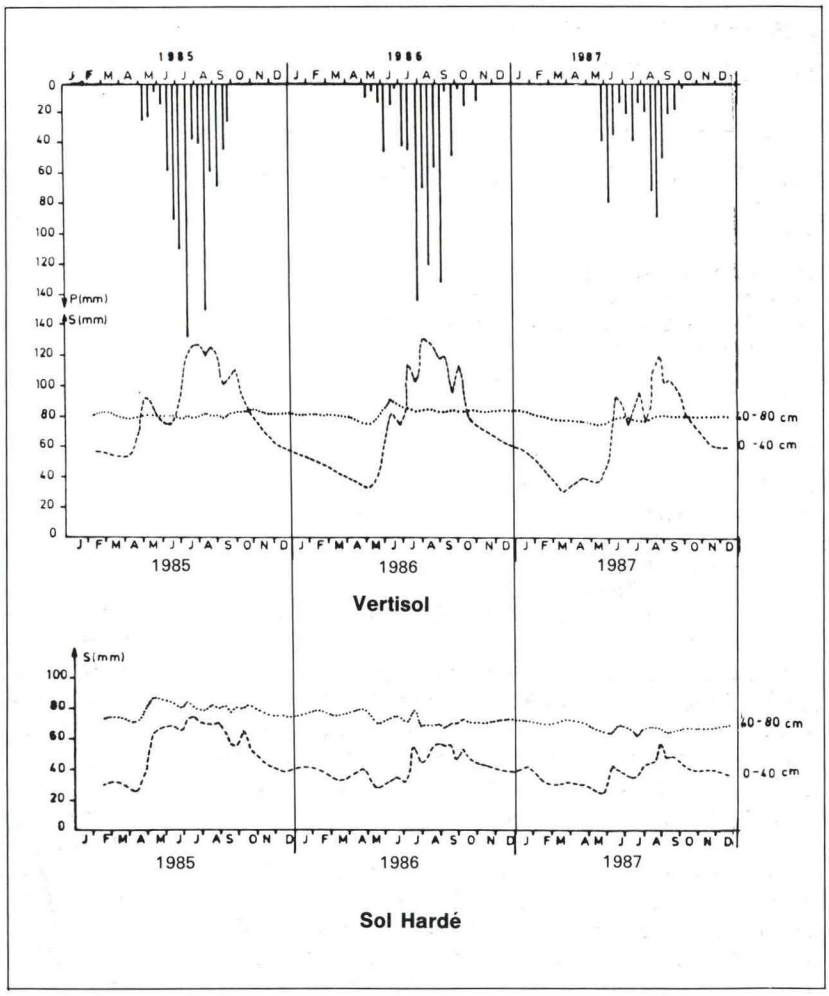


FIGURE 3
Comparaison de l'évolution annuelle des réserves en eau totale (S,mm) d'un vertisol et de son faciès de dégradation (Hardé)



CONCLUSION

Sur le tableau ci-dessous nous avons porté, pour comparaison, les comportements hydriques du sol Hardé et du vertisol en bon état. Le dysfonctionnement hydrique du sol Hardé y est largement mis en évidence. Ainsi, l'infiltration est-elle en moyenne de 50 à 60 % moindre sur le sol Hardé que sur le vertisol non dégradé, ceci étant lié à une déstructuration de l'épipédon en relation avec la baisse de la matière organique (de 0,8 à 0,4 %), la généralisation des pellicules de battance et la disparition des fentes de retrait. La profondeur maximale humectée est le double sur le vertisol modal ; quant au stockage maximal de l'eau, il est de trois à quatre fois plus important sur le vertisol ; ceci est dû à la reconstitution de réserves localisées plus profondément, en relation avec une meilleure structuration et grâce à la présence de fentes.

Comparaison des régimes hydriques d'un sol Hardé d'origine vertisolique et du vertisol non dégradé

	Vertisol non dégradé	Sol hardé d'origine vertisolique
Profondeur maximale humectée (cm)	60 à 70	25 à 35
Coefficient d'efficacité de la pluie Ke (%) (sous pluies naturelles)	75 à 85	55 à 65
Accroissement maximal des réserves en eau du sol (0-80 cm) en mm	90 à 120	25 à 35
Disponibilité en eau pour la végétation point flétrissement à Φ = -1,6 mPa (en mois)		
• pour 0-40 cm	5 à 6	2 à 3
• pour 0-80 cm	12	2 à 3

Reprenant les concepts d'aridité climatique et d'aridité édaphique de FLORET et PONTANIER (1982 et 1984), on constate qu'au sens d'AUBREVILLE, il y a sécheresse si la pluviosité mensuelle est inférieure à 30 mm (soit huit mois par an à Maroua) et qu'il y a sécheresse climatique si la pluviosité mensuelle est inférieure à l'Evapo Transpiration Potentielle (ETP) Penman mensuelle (soit neuf mois par an à Maroua). La sécheresse édaphique se manifeste par l'incapacité du sol à restituer son eau aux végétaux ; on a considéré, dans notre cas, qu'une eau retenue par le sol à des potentiels inférieurs à -1,6 mPa ne pouvait plus être facilement accessible à la végétation. Ainsi, constate-t-on que, pour la tranche de sol 0-40 cm, celle qui intéresse surtout la végétation herbacée, le vertisol présente une durée de disponibilités en eau deux à trois fois plus longue que celle du sol Hardé ; par ailleurs, on doit noter que l'aridité d'origine climatique est profondément modifiée par les formes édaphiques. Ainsi, l'aridité climatique est-elle en terme de durée diminuée de 50 % dans le cas des vertisols non dégradés en raison de leurs propriétés physico-hydriques mais, en revanche, accentuée de 25 % dans le cas des sols Hardé ; la raison en est leur faible aptitude à l'infiltration liée à une dégradation physique, d'origine anthropique, de leur horizon de surface. ■

Lamine SEINY-BOUKAR
Institut de la Recherche Agronomique
BP 33 Maroua (Cameroun)

Roger PONTANIER
ORSTOM, 7, rue Teimour, BP 434 1004 El Menzah
Tunis (Tunisie)

En début de saison des pluies, croûte d'algue dans une petite dépression d'un sol Hardé.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ASSELINE (J.) et VALENTIN (C.), 1978. — Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol. Vol XX n° 4, 1978, pp. 321-349.

BRABANT (P.), GAVAUD (M.), 1985. — Les sols et les ressources en terres du Nord-Cameroun. Carte et notice explicative n° 103. MESRES-IRA, Yaoundé. ORSTOM, Paris. Ed. de l'ORSTOM, Paris, 285 p. + 6 cartes couleur h. t.

CASENAVE, (A.) VALENTIN (C.), 1989. — Etats de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. CEE/ Editions de l'ORSTOM, Paris, 229 p.

CEE, 1988. — Utilisation et conservation des ressources en sol et en eau (Nord-Cameroun). Rapport final. Contrat TSD.A.216.CAM (DG 12.CEE)- MESRES-ORSTOM-CNRS.

CHAIEB (M.), 1989. — Influence des réserves hydriques du sol sur le comportement comparé de quelques espèces végétales de la zone aride tunisienne. IRA Médenine Tunisie, ORSTOM, CEPE/CNRS, Montpellier, 292 p.

CHEVALIER (P.), 1982. — Simulation de pluie sur deux bassins versants sahéliens (Mare d'Oursi, Haute-Volta). Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol. XIX n° 4, pp. 253-297.

ESCADAFAL (R.), 1989. — Caractérisation de la surface des sols arides par observations de terrain et par télédétection. Applications : exemple de la région de Tataouine (Tunisie). Coll. Etudes et Thèses. Ed. ORSTOM, Paris, 1989, 313 p.

FLORET (Ch.), PONTANIER (R.), 1982. — L'aridité en Tunisie présaharienne. Travaux et Documents de l'ORSTOM n° 150, Paris, 544 p.

FLORET (Ch.) et PONTANIER, (R.), 1984. — Aridité climatique, aridité édaphique. Bull.Soc.Bot.Fr., 131, Actual. Bot., 1984 (2/3/4) : 265-275.

HILLEL (D.), 1974. — L'eau et le sol. Principes et processus physiques. VANDER, 288 p.

MASSE (D.), DONFACK (P.), OUMAR (H.), SEINY-BOUKAR (L.), TCHEUFFA P., 1990. — Réhabilitation et utilisation des terres marginales du Nord-Cameroun. Rapport de campagne 1989. IRA/CEE, 58 p. + annexe.

MARTIN (D.), 1963. — Carte pédologique du Nord-Cameroun. Feuille KAELE à 1/100 000. IRCAM-ORSTOM, Paris. 100 p. multigr. + 1 carte couleur h.t.

PHILIPS (J.R.), 1966.— Plant water relations. Some physical aspects. Ann. Rev. Plant. Physiol. 17 : 245-268.

PONTANIER (R.), MOUKOURI-KUOH (H.), SAYOL (R.), SEINY-BOUKAR (L.), THEBE (B.), 1985. — Apport de l'infiltromètre à aspersion pour l'évaluation des ressources en sols des zones soudano-sahéliennes du Cameroun. Journées Hydrologiques de Montpellier. Colloques et Séminaires ORSTOM : 165-189.

SEGHIERI (J.), 1990. — Dynamique saisonnière d'une savane soudano-sahélienne au Nord-Cameroun. Thèse USTL, Univ. Montpellier II, 200 p.

SEINY-BOUKAR (L.), 1990. — Régime hydrique et dégradation des sols dans le Nord-Cameroun. Thèse doctorat 3ème cycle, Univ. Yaoundé, 226 p. annexe.

THEBE (B.), 1987. — Hydrodynamique de quelques sols du Nord-Cameroun, bassin versant de Mouda. Contribution à l'étude des transferts d'échelle. Thèse USTL, Montpellier, 306 p.

TREVISAN (D.), 1986. — Comportement hydrique et susceptibilité à l'érosion des sols limoneux cultivés. Thèses Université d'Orléans, 244 p.

VALENTIN (Ch.), 1978. — Problèmes méthodologiques de la simulation de pluies. Application à l'érodibilité des sols. Actes du colloque « Erosion agricole des sols en milieu tempéré non méditerranéen ». Strasbourg, INRA, pp. 117-122.

HYDROLOGIE D'UN MICROBASSIN VERSANT OÙ DOMINENT LES SOLS HARDÉ

par Bernard THÉBÉ, hydrologue, ORSTOM

Vue générale du bassin versant de Mouda après les feux de saison sèche.

RÉSUMÉ

Dans le cadre d'un projet européen, l'auteur s'est intéressé à l'hydrodynamique des sols Hardé et a mené une étude hydrologique sur un bassin de 18 km^2 représentatif de la région de Maroua, près du village de Mouda.

A l'intérieur de celui-ci, a été défini un microbassin de 3 000 m^2, délimité par une levée de terre. Celui-ci est occupé par des sols Hardé à différentes phases de dégradation. Il est équipé de postes pluviométriques, pluviographiques, d'une station hydrométrique et de tubages pour le suivi neutronique de l'humidité du sol.

On a tout d'abord déterminé les caractéristiques hydrodynamiques propres à chaque type de sol représenté sur le microbassin. Ceci a été fait, d'une part, en saison sèche, à l'aide d'un infiltromètre à aspersion qui reproduit artificiellement des pluies ayant les mêmes caractéristiques que les averses naturelles et, d'autre part, en saison des pluies, où ces mesures ont été vérifiées avec un dispositif de suivi de ruissellement sur parcelles de 1 m^2. Le tout a permis d'établir un modèle qui donne le ruissellement en fonction de la hauteur de l'averse, de l'état antérieur d'humectation du sol et d'un indice de couvert végétal.

Le modèle permettant le transfert des résultats de la simulation de pluie sur 1 m^2, au bassin versant, consiste à déterminer la fonction de production du bassin. La lame ruisselée calculée (Lrc) est égale à la somme des Lrci de chaque unité cartographique, multipliée par leurs surfaces respectives. La fonction de calage permet de passer de la lame ruisselée observée à celle qui est calculée, de façon à tenir compte de l'effet de pente, de l'état de la végétation (plus ou moins sèche), de la répartition des sols par rapport aux rigoles de drainage.

Ayant ainsi quantifié le ruissellement potentiel des différentes zones du bassin, les hydrogrammes globaux de crue de celui-ci ont été observés à l'exutoire.
Il a été remarqué que, sur ce bassin, une averse ayant une pointe unique d'intensité engendre un hydrogramme à deux maxima.

Il a été déduit que la première pointe de crue est provoquée par les eaux de ruissellement d'une unité amont, représentative des sols Hardé, dont les tests au simulateur ont montré la rapidité de réaction à une averse. La deuxième pointe de crue résulte de l'adjonction du ruissellement sur le reste du bassin, dont la capacité d'infiltration est supérieure, en partie à cause de la végétation. Cette hypothèse a été vérifiée par traçage au sel et à la fluorescéine.

Finalement, la fidélité du mini-simulateur de pluie dans la reproduction des averses a été prouvée sur sol à couvert faible de végétation comme les sols Hardé, alors qu'au-delà d'un couvert herbacé de 30 %, celui-ci doit impérativement être pris en compte.

ABSTRACT

The author became interested in the hydrodynamics of Hardé soils while working for a European project. He carried out a hydrologic study on an 18 km^2 basin near Mouda where the conditions are representative of the Maroua region.

A 3 000 m^2 microbasin separated from the rest of the basin by an elevation was selected. This microbasin is occupied by Hardé soils which are at various stages of degradation. The installations on this site include a rain gauge, a rainfall graphic equipment, a hygrometric station and a gamma neutron probe.

First, the hydrodynamic characteristics of each soil type on the microbasin were determined. On the one hand, this was done in the dry season using an aspersion-infiltration-metre which simulates rainfall (with the same characteristics as natural rain). On the other hand, measurements were cross-checked in the rainy season using a runoff study design on a plot of 1 m^2. The results of the complete study made it possible to build a model which determines rainfall runoff as a function of rain drop height, prior soil moisture content, and vegetational cover index.

The model which makes it possible to transfer the results obtained from the 1 m^2 rainfall simulation plot to the watershed is based on the determination of the production function of the basin. The calculated runoff (CR) is equal to the sum of the calculated runoff (CRi) of each cartographic unit multiplied by its respective surface area. The setting function enables us to leave from the observed to the calculated runoff such that the effects of the following factors are taken into consideration : slope, state of the vegetation (more or less dry), soils repartitioning with respect to drainage channels, etc.

After quantifying the potential runoff of the different zones, the global flood hydrogrammes of the basin were then observed from the outlet.

It was noted that a rainfall in this basin which has only one point of intensity has a hydrogramme of 2 maxima.

It was deduced that the first flood point is caused by runoff from the upper portion, which represents Hardé soils of which runoff simulation tests have shown the reaction rapidity to a rainfall. The second peak results from the combination of runoff from the rest of the basin with a higher infiltration due to vegetation availability. This hypothesis was verified by using salt straining and fluorescein.

Finally, the efficiency of the mini-rainfall simulator was proved on a soil with scanty vegetation compared to that of the Hardé soils , but if the vegetational cover is up to or more than 30 %, this must be taken into consideration when simulating runoff.

Les sols de la province de l'extrême-nord du Cameroun ont fait l'objet de nombreuses études pédologiques, dont une synthèse descriptive de BRABANT et GAVAUD (1985). Le fonctionnement hydrique de ces sols a aussi en partie été étudié (SEINY-BOUKAR, 1990)

Dans cet ouvrage, les auteurs classent, du point de vue des « contraintes et aptitudes des terres », une grande partie des sols de la région dans l'unité « Terres dégradées en Hardes », même si toutes les terres n'atteignent pas l'aspect final de dégradation que traduit le terme sol Hardé, défini par SEINY-BOUKAR et PONTANIER (1992). La dégradation de ces terres est marquée par un régime hydrique gravement perturbé. L'infiltration est bloquée sous la mince couche meuble de surface ; l'humectation peut atteindre 25 à 30 cm en fin de saison des pluies mais, au-delà, la terre reste sèche toute l'année.

Deux millions d'hectares sont actuellement susceptibles de subir cette « hardéisation » et viendront s'ajouter aux 886 000 hectares déjà existants, soit environ 10% des terres de la région *.

Il paraissait donc important de s'intéresser, dans le cadre du programme « Utilisation des Ressources en Eau et en Sols du Nord-Cameroun » (CCE, 1985), à l'hydrodynamique de ces sols et de mener une étude hydrologique sur un bassin représentatif de ces milieux.

L'ensemble des résultats présentés ici provient d'une série d'études pluridisciplinaires effectuées sur le bassin versant de Mouda (18,1 km^2), situé à environ 30 km au sud de Maroua, dans la province de l'extrême-nord du Cameroun, et plus particulièrement de la synthèse hydrologique (THEBE, 1987, THEBE et PONTANIER, 1989).

* Ndlr. On a vu, dans les articles précédents, que cette proportion est peut-être surévaluée (C. TRIBOULET) et que le risque de « hardéisation » est lié au type de gestion (C. SEIGNOBOS).

MÉTHODE

A l'intérieur du bassin de 18,1 km^2, on a défini un microbassin de 3 000m^2, matérialisé par une levée de terre et représentatif des vertisols dégradés et des sols Hardé ; certains y sont dans la phase finale de dégradation, avec l'apparition en surface de nodules calcaires. La végétation est généralement peu abondante, voire inexistante sur la partie du sol Hardé du bassin.

De forme très compacte (indice de GRAVELIUS K = 1,14), très plat (dénivelée totale = 207 cm), le réseau hydrographique peu marqué n'apparaît que dans le tiers aval, sous la forme d'un canal collecteur assez encaissé. Il est équipé de postes pluviométriques, pluviographiques, d'une station hydrométrique et de tubages pour le suivi neutronique de l'humidité du sol.

Ce dispositif a permis d'étudier les mécanismes de formation des crues et une approche du bilan hydrologique par des méthodes en mode synchrone (pluies simulées) et diachrone pluriannuel (pluies naturelles à l'échelle du bassin et du m^2).

Afin de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques propres à chaque type de sols représentés sur ce microbassin, et sur la base d'une cartographie thématique des sols et des systèmes écologiques, trois sites représentatifs des unités physionomiques ont été sélectionnés, en insistant surtout sur les états de la surface et les types d'occupation du sol (CASENAVE et VALENTIN, 1989) :

- **Unité ou site 1 (SI)** : Sols Hardé très battants ; pratiquement jamais de végétation.
- **Unité ou site 2 (SII)** : Vertisols très dégradés, très peu de fentes de retrait, végétation à base d'annuelles.
- **Unité ou site 6 (SIV)** : Régosol sur matériau argilo-limoneux à nodules calcaires, surface graveleuse, annuelles tardives.

Collines végétalisées, en bordure du bassin de Mouda, et colluvions de rupture de pente dénudés.

Talweg sur sol Hardé.

L'utilisation de l'infiltromètre à aspersion nous a permis, sur chacun des sites représentatifs, d'étudier les principaux paramètres de l'hydrodynamique de ces sols, en faisant les deux hypothèses suivantes :

- La dynamique de l'eau dans le sol sous pluie simulée et sous pluie naturelle est la même puisque l'infiltromètre reproduit fidèlement les principales caractéristiques des averses naturelles : intensité, hauteur, énergie cinétique des gouttes de pluie.
- Pour s'affranchir des perturbations dues aux pluies naturelles, les expérimentations en pluie simulée ont toujours été menées en saison sèche, en considérant que l'influence de la végétation herbacée sur le ruissellement et l'infiltration est liée à sa densité et non à son état physionomique (ALBERGEL et THEBE, 1987).

Afin de tester la validité des résultats obtenus en saison sèche avec simulation, dans des conditions assez éloignées de celles de la saison des pluies, il a été mis au point un dispositif de suivi du ruissellement sur parcelles de 1 m^2 pour les trois sites de simulation de pluie représentatifs du microbassin de 3 000 m^2, ceci pendant toute la durée d'une saison des pluies.

Sur chacun des sites, une fonction de production du ruissellement a été élaborée à partir d'un modèle de type « multilinéaire ».

La mise au point de ce modèle comporte trois étapes :

- homogénéisation et critique des données observées sur les trois parcelles de chaque site ;
- expression sous forme de régression linéaire de la lame ruisselée en fonction des variables les plus significatives ;
- test de signification des coefficients de régression (test de STUDENT).

Dans ce cas d'étude, les variables explicatives du ruissellement sont :

- la hauteur de l'averse (Pu en mm) ;
- l'état d'humectation du sol, représenté par un indice des pluies antérieures (IK) de type KOHLER (CHEVALIER, 1983).

$$IKn = (IKn\text{-}1 + Pn\text{-}1)e^{-\&t} \quad \text{avec :}$$

IKn = indice d'humectation immédiatement avant la pluie (n)
Pn-1 = hauteur de l'averse précédant l'averse considérée
t = temps séparant la fin de l'averse de rang (n-1) du début de l'averse considérée, exprimé en jours et fractions de jours
& = coefficient de calage (pris égal à 0,5).

- un indice de couvert végétal CV en % (FLORET et PONTANIER, 1982; BOURGES *et al.*, 1984).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

ÉTUDE DU RUISSELLEMENT À L'ÉCHELLE DE LA PARCELLE

La réaction d'une parcelle à une averse donnée est connue par l'analyse de l'hydrogramme de ruissellement pour l'averse considérée. Deux paramètres essentiels, caractéristiques du processus de ruissellement, peuvent être facilement définis par les tests à l'infiltromètre à aspersion : la hauteur de la pluie d'imbibition (Pi), l'intensité limite de ruissellement (IL).

■ Étude de la pluie d'imbibition

Les facteurs principaux influant sur la pluie d'imbibition sont : l'état d'humectation initial du sol, les différents états de surface et de la végétation ainsi que l'intensité de l'averse.

• Commentaires

Unité (SI) : on a noté la modestie des valeurs de pluies d'imbibition sur sol naturel, inférieures à 4 mm même pour des averses de faible intensité (I = 24 mm/h), et l'homogénéité de leur comportement.

Le travail du sol augmente considérablement la valeur de la pluies d'imbibition puisqu'elle atteint: 18,6 mm au lieu de 4 mm pour P4.

Unité (SII) : plusieurs états de surface et de végétation ont été testés:

- sol nu et sol après labour manuel
- couvert végétal « moyen » (30% de recouvrement)
- couvert végétal « dense » (50 à 80% de recouvrement).

Deux remarques importantes peuvent être faites :

- L'influence de la végétation sur la hauteur de la pluie d'imbibition ne se fait sentir qu'au-delà d'un seuil minimal de recouvrement au sol de l'ordre de 40%.

- La valeur de la pluie d'imbibition est, dans tous les cas, très liée à l'indice IK d'antécédence des pluies. Elle décroît en fonction de IK suivant une branche d'hyperbole, dont la courbure dépend de l'état de surface et l'asymptote de l'état de la végétation.

Unité (SVI) : les hauteurs de pluies d'imbibition sur trois parcelles testées sont très homogènes, directement liées à l'indice IK et sensiblement égales à celles de (SI) (entre 4 et 5 mm).

■ Étude de l'intensité limite de ruissellement

Il s'agit ici de définir les intensités limites de pluie pour lesquelles il y aura ou il n'y aura pas ruissellement.

Pour cela deux valeurs ont été mesurées :

IL1 : intensité limite au-dessous de laquelle la parcelle ne ruisselle jamais

IL2 : intensité limite au-dessus de laquelle la parcelle ruisselle toujours.

Les mêmes remarques que pour la pluie d'imbibition peuvent être faites ici concernant l'influence des états de surface et du type d'occupation du sol.

• Commentaires

L'unité (SI) : elle peut ruisseler pour n'importe quelle intensité, même très faible, et ruisselle toujours pour des intensités supérieures à 10/13 mm/h.

L'unité (SII) : elle se comporte un peu comme la précédente ; elle peut ruisseler à des volumes très bas d'intensité 0 à 6 mm/h mais ruisselle toujours à partir de 16/20 mm/h.

L'unité (SVI) : elle ruisselle à partir de 6 mm/h et toujours au-delà de 15/20 mm/h.

En dessous d'un couvert végétal de 35 %, ces valeurs ne varient que très peu mais, dès qu'il atteint les valeurs de 50 %, IL1 est de l'ordre de 16/20 mm/h et IL2, de 40 à 50 mm/h pour l'unité (SII).

Le suivi de ces mêmes parcelles en conditions naturelles, durant une saison des pluies, nous a permis de vérifier la validité de ces résultats. Sur l'ensemble du dispositif, et pour la totalité de la saison des pluies, seulement quatre « anomalies » ont pu être relevées sur une ou plusieurs parcelles, provenant d'averses à la limite des critères définis par les pluies simulées.

■ Modélisation du ruissellement

• Sous pluie simulée

Trois campagnes de simulation ont été réalisées. L'homogénéité des données recueillies sur les parcelles ayant été vérifiée, nous obtenons les fonctions de production suivantes (B. THEBE, 1987, *op. cit.*) :

Unité (SI) $Lrs_1 = 0{,}91\ Pu - 4{,}21$
($R^2 = 0{,}941$ pour 28 observations)

Unité (SII) $Lrs_2 = 0{,}758\ Pu + 0{,}146\ IK - 0{,}207\ CV - 4{,}57$
($R^2 = 0{,}816$ pour 31 observations)

Unité (SVI) $Lrs_6 = 0{,}661\ Pu + 0{,}197\ IK - 0{,}292\ CV - 5{,}47$
($R^2 = 0{,}900$ pour 18 observations)

Lrs : lame ruisselée calculée par le modèle simulateur.
R^2 : coefficient de détermination multiple.
IK : indice des précipitations antérieures.
CV : indice de couvert végétal.

Sur l'unité (SI), seule la variable pluie est significative alors que, sur les deux autres sites, le même test (STUDENT, avec un seuil de signification fixé à 1 %) accepte également les variables IK et CV. Pour l'unité (SI), représentative des terres Hardé, la non-incidence de la variable (IK), qui caractérise le « réservoir-sol » dans l'horizon de surface, confirme la faiblesse de l'infiltration dans ces terres et vérifie la description qui en a été faite par BRABANT et GAVAUD (1985, *op. cit.*).

• Reconstitution des lames ruisselées observées sous pluies naturelles

Le « modèle pluie naturelle » a été établi à partir des données recueillies sur les trois sites représentatifs du microbassin, durant la saison des pluies 1985 ; il prend en compte les mêmes variables que le « modèle simulateur » :

- la hauteur de pluie (Pu) ;
- l'indice des précipitations antérieures (Ik) ;
- l'indice de couvert végétal (CV). Une estimation de la densité du couvert végétal, à différentes dates de la saison des pluies, permet de donner à cet indice des valeurs représentatives de l'évolution du couvert herbacé (B. THEBE, 1987, *op. cit.*).

Après critique des données sur chaque site, les fonctions de production suivantes ont été établies :

Unité (SI) $Lrn_1 = 0{,}838\ Pu - 2{,}34$
($R^2 = 0{,}962$ pour 60 observations)

Unité (SII) $Lrn_2 = 0{,}541\ Pu - 0{,}103\ CV + 0{,}075$
($R^2 = 0{,}815$ pour 82 observations)

Unité (SVI) $Lrn_6 = 0{,}696\ Pu - 3{,}43$
($R^2 = 0{,}937$ pour 96 observations)

Lrn : lame ruisselée calculée par le modèle pluie naturelle.

L'application du modèle simulateur aux lames ruisselées observées sur chaque site donne le système d'équations :

Unité (SI) $Lro_1 = 0{,}93\ Lrs_1 + 1{,}34$($R^2 = 0{,}960$ pour 60 observations)

Unité (SII) $Lro_2 = 0{,}85\ Lrs_2 + 0{,}55$($R^2 = 0{,}846$ pour 82 observations)

Unité (SVI) $Lro_6 = 1{,}06\ Lrs_6 - 1{,}59$($R^2 = 0{,}884$ pour 96 observations)

où : Lro = lame ruisselée observée sous pluie naturelle.
Lrs = lame ruisselée calculée par le modèle simulateur.

La comparaison des régressions, site par site, dans les deux situations expérimentales, montre que :

- sur les unités (SI) et (SVI), les coefficients de régression de la variable Pu sont du même ordre de grandeur ;
- sur l'unité (SII), où se développe une végétation relativement importante au cours de la saison pluvieuse, les coefficients de régression varient sensiblement ; la lame ruisselée n'est qu'imparfaitement expliquée dans les deux cas.
- On se rend compte que la reconstitution des lames ruisselées par le modèle simulateur est satisfaisante sur les unités (SI) et (SVI) dépourvues de végétation ou présentant un couvert faible. Sur l'unité (SII), les résultats obtenus par les deux modèles sont sensiblement différents.

En conclusion, les écarts de même ordre de grandeur dans la reconstitution des lames ruisselées par les deux modèles, sur les unités (SI) et (SVI), vérifient la fidélité de la reproduction des averses par le simulateur, ainsi que la non-incidence du couvert végétal lorsque celui-ci est faible ; BOURGES *et al.* (1984) l'avaient déjà signalé dans les zones arides tunisiennes. En revanche, il semble dans le cas d'un couvert végétal important (CV > 30 à 40%), avec évolution physionomique de la végétation au cours de la saison des pluies, que cette fidélité de reproduction du ruissellement par le modèle simulateur ne puisse être totalement vérifiée.

TRANSFERT DES RÉSULTATS DE LA PARCELLE AU MICROBASSIN

Le modèle permettant le transfert des résultats de la simulation de pluie, sur 1 m^2, au bassin versant consiste à déterminer la fonction de production du bassin ; celle-ci résulte de la somme pondérée des fonctions de production de chaque unité cartographique:

$$Lrc = a_1 Lrs_1 + a_2 Lrs_2 ... + a_n Lrs_n$$

a_1, a_2..., a_n représentent les fractions de superficies occupées par les unités 1, 2,...n.

A l'échelle de la parcelle (1 m^2), un certain nombre de paramètres ne sont pas pris en considération, ce qui oblige le passage par une fonction de calage des lames ruisselées, calculées sur les lames ruisselées observées.

La fonction de calage du bassin est la droite moyenne entre les droites de régression :

$$Lrc = f(Lro) \text{ et } Lro = f(Lrc)$$

RECONSTITUTION DES LAMES RUISSELÉES OBSERVÉES

Ce bassin de la dimension d'un champ (3 000 m^2) est caractérisé par une faible dénivelée, une relative homogénéité des sols (vertisoliques) et par trois unités correspondant aux sites I, II et VI de la simulation ; elles représentent respectivement 51 %, 28 % et 21 % de la surface, distribuées suivant la carte de la figure 1.

La fonction de production du bassin s'écrit :

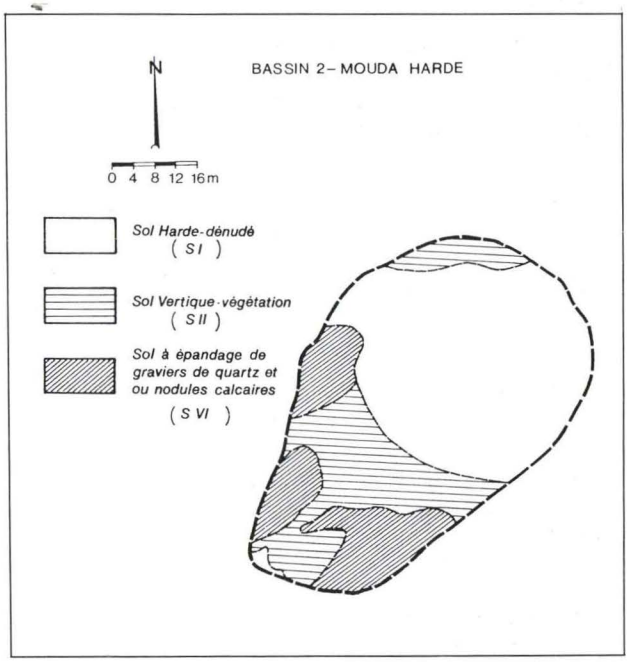
$$Lrc = 0{,}51\ Lrs_1 + 0{,}28\ Lrs_2 + 0{,}21\ Lrs_6$$

Pour toutes les pluies naturelles observées sur le bassin, ayant provoqué du ruissellement, les lames ruisselées ont été reconstituées à partir des valeurs de Pu (pluie moyenne), IK (indice des précipitations antérieures), CV (indice de couvert végétal).

Pour l'ensemble des deux campagnes 1984-1985, nous avons obtenu la fonction de calage suivante :

$$Lro = 1{,}01\ Lrc - 0{,}185$$
$$R^2 = 0{,}96 \text{ (83 observations)}$$

FIGURE 1
Carte des états de surface et représentativité des sites de simulation de pluies



APPORT À L'ANALYSE DE L'HYDROGRAMME DE CRUE

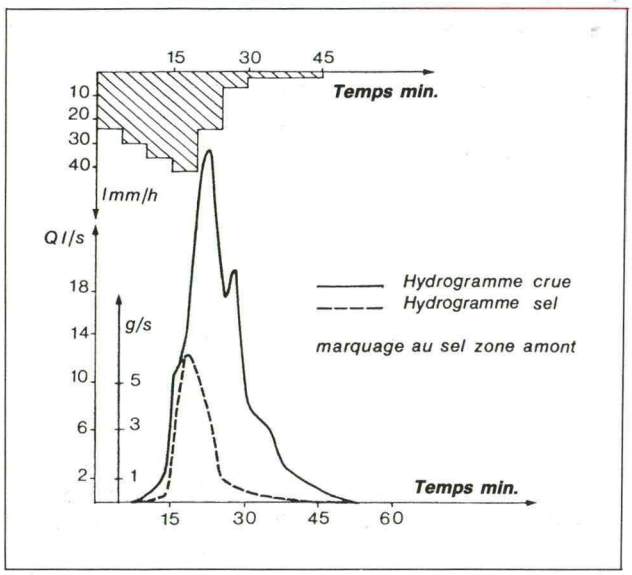
L'application des fonctions de production du ruissellement établies sur parcelles élémentaires n'autorise que le calcul des lames ruisselées. La détermination de l'hydrogramme de crue-type pour un bassin donné nécessite, par ailleurs, l'analyse des hydrogrammes de crues observées au cours d'épisodes pluvieux suffisamment nombreux.

L'un des apports importants du simulateur est la possibilité de quantifier le ruissellement potentiel des différentes aires contributives d'un bassin versant (DA COSTA DOS REIS SILVA, 1986).

Aussi nous a-t-il paru intéressant d'utiliser les fonctions de production du ruissellement établies sur parcelles pour décomposer l'hydrogramme global de crue observé à l'exutoire. Cette analyse de l'hydrogramme est d'autant plus aisée que la taille du bassin est réduite (donc présentant des temps de transfert très courts) et que la différenciation des aires contributives est nette.

L'examen des hydrogrammes et hyétogrammes, enregistrés au cours de la saison des pluies 1985, nous révèle qu'une averse à une pointe unique d'intensité engendre un hydrogramme à deux maxima (fig. 2, p. 52).

FIGURE 2
Crue du 8 août 1986



Par ailleurs, la carte des états de surface (fig. 1) et les tests au simulateur de pluie permettent de définir deux aires contributives homogènes du point de vue du ruissellement : l'unité (1) représentée par les sites SI et SVI de simulation de pluie et l'unité (2) représentée par le site SII.

De ces observations découle l'hypothèse suivante :

- la première pointe de crue est provoquée par les eaux de ruissellement de l'unité (SI) située principalement en amont du bassin, dont les tests au simulateur ont montré la rapidité de réaction à une averse (durée de la pluie d'imbibition brève) ;
- la deuxième pointe de crue résulte de l'adjonction du ruissellement sur le reste du bassin, dont la capacité d'infiltration est supérieure en partie à cause de la végétation, analogue à l'unité (SII) de simulation de pluie.

Cette hypothèse a été vérifiée sur le terrain par une série de traçages au sel et à la fluorescéine, qui ont permis de hiérarchiser l'ordre des écoulements et de dresser la carte des rigoles de ruissellement, selon leur ordre d'apparition (fig. 3).

L'hydrogramme global de crue a été décomposé graphiquement en deux hydrogrammes élémentaires, correspondant chacun à une des deux parties du bassin selon le schéma de la figure 4.

Pour calculer les volumes de chaque hydrogramme élémentaire, chaque aire contributive du bassin s'est vu appliquer la fonction de production du ruissellement correspondante, établie sous pluie simulée.

FIGURE 3
Trace des rigoles de ruissellement

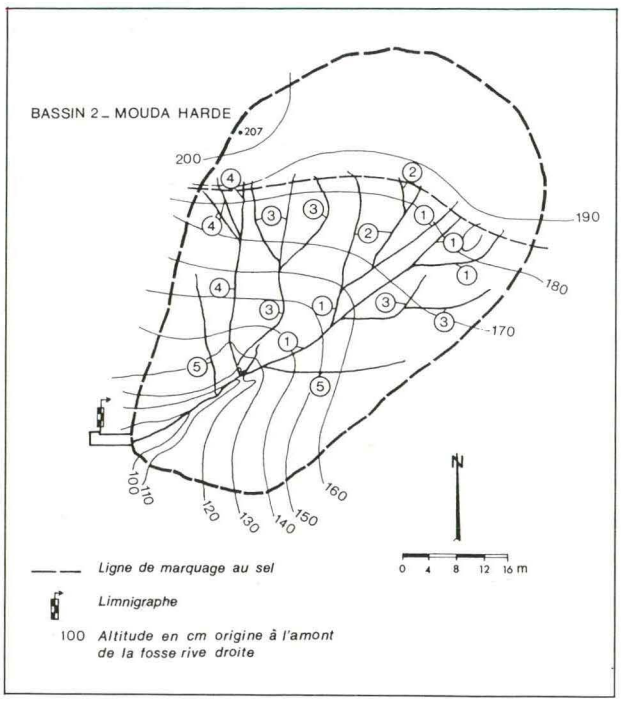
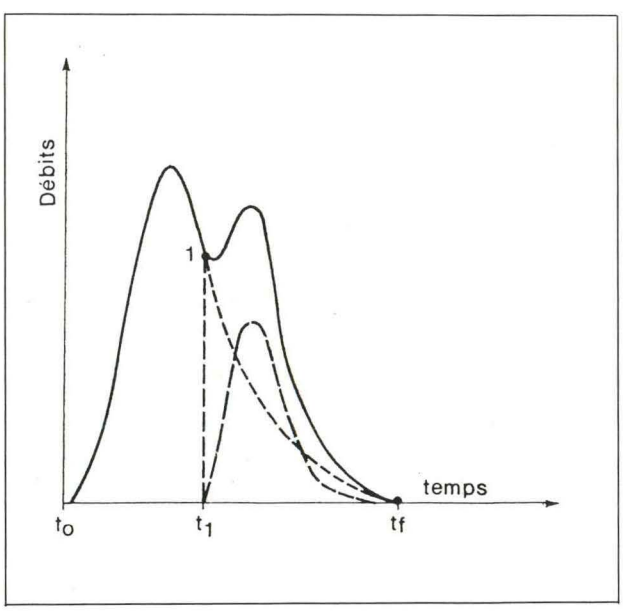


FIGURE 4
Schéma de séparation des hydrogrammes



La comparaison pour chaque hydrogramme élémentaire des volumes ruisselés, observés et calculés pour quelques crues, est présentée dans le tableau I, p. 53.

TABLEAU I

Comparaison des volumes ruisselés observés et des volumes ruisselés calculés

Date	Volumes observés (m^3/s)		Volumes calculés (m^3/s)	
	Hydrogramme n° 1	Hydrogramme n° 2	Hydrogramme n° 1	Hydrogramme n° 2
	(SI-SVI)	(SII)	(SI-SVI)	(SII)
04/05/85	38,1	9,6	39,3	13,3
14/06/85	15,5	4,2	12,7	4,3
10/07/85	24,3	4,7	20,2	7,5
14/07/85	31,2	6,9	29,0	9,9
17/07/85	39,6	9,8	32,8	11,9
21/07/85	29,5	12,1	22,7	6,7
25/07/85	27,3	3,3	15,9	3,1
14/08/85	38,4	8,3	21,1	4,3

APPROCHE DU BILAN HYDROLOGIQUE

Nous présentons, dans le tableau II, les termes du bilan annuel pour les deux campagnes de mesures en conditions naturelles sur le microbassin.

Les notations suivantes ont été utilisées :

P = pluviométrie (mm)
Lr = lame ruisselée (mm)
Kr = coefficient de ruissellement (%)
De = déficit d'écoulement = P — Lr (mm)

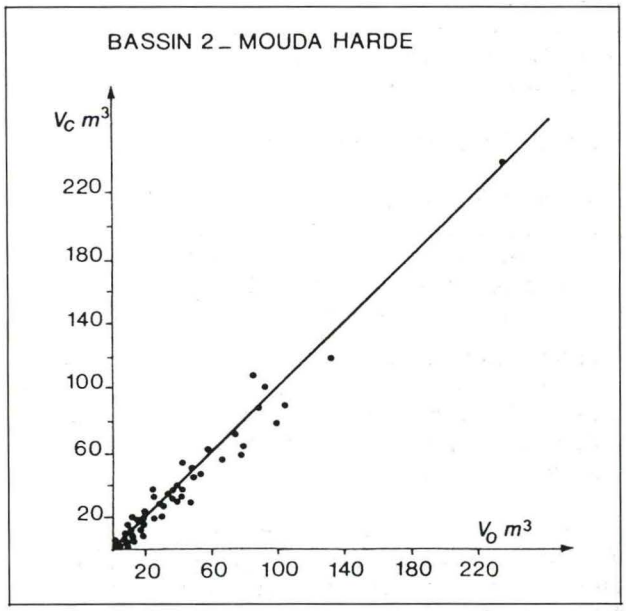
TABLEAU II

Bilan annuel du bassin versant 2 Hardé

Période	P (mm)	Lr (mm)	Kr (%)	De (mm)
1984	624	274	44	350
1985	922	497	54	425

La figure 5 compare, pour l'ensemble des crues, les volumes écoulés, observés (Vo) et calculés (Vc).

FIGURE 5
Comparaison entre volumes écoulés observés et volumes calculés



CONCLUSION

La comparaison des fonctions de production du ruissellement, sur parcelles élémentaires, établies dans les deux situations de saison sèche sous pluie simulée et de saison des pluies en conditions naturelles, a permis de mettre en évidence les faits suivants :

- La fidélité du mini-simulateur dans la reproduction des averses : les fonctions de production sont sensiblement les mêmes, dans les deux cas, sur les sites dépourvus de végétation ou à couvert faible.

- L'identification d'un seuil de densité de recouvrement au sol par la végétation herbacée, au-delà duquel la prise en compte de ce paramètre devient nécessaire.

Ce seuil critique de densité du couvert herbacé, estimé à 30 %, n'est que rarement atteint sur les sols à caractère Hardé.

Les tests réalisés sur parcelles (1 m^2) ont permis de définir certaines caractéristiques hydrodynamiques de ces sols (Pi, IL, Kr) et de mieux comprendre la genèse des crues sur le microbassin à partir des fonctions de production de chaque aire contributive, en particulier sur les sols Hardé qui fournissent la majeure partie des volumes ruisselés. ■

Ndlr. L'important ruissellement sur sols hardé et la contribution très rapide de ceux-ci à la formation de crues constatés par l'auteur, sont, hélas, plusieurs fois par an vérifiés par les habitants de la ville de Maroua, dont certains quartiers sont inondés par le Mayo Kaliao, rivière d'une dizaine de kilomètres de long qui draîne essentiellement des zones dénudées.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ALBERGEL (J.), THEBE (B.), 1986. — Pluie naturelle-Pluie simulée. Quelle différence sur le ruissellement ? gouttes et Splash. Vol. 3, n° 1.

BOURGES (J.), FLORET (C.), GIRARD (G.), PONTANIER (R.), 1984. - Dynamique de l'eau sur un glacis du Sud tunisien (type Segui). ORSTOM. Tunis. CEPE/CNRS. Montpellier, multigr, 86 p.

BRABANT (P.), GAVAUD (M.), 1985. — Les sols et les ressources en terre du Nord-Cameroun. Coll.Cartes et notices explicative n° 103. MESRES-IRA Yaoundé. ORSTOM. Paris. Ed. ORSTOM, 285 p. + 6 cartes couleur hors-texte.

CASENAVE (A.), VALENTIN (C.), 1989. — Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. Coll. Didactiques. ORSTOM. Paris. Ed. ORSTOM. 203 p. + Annexes.

CCE, 1988. — Utilisation et conservation des ressources en sol et en eau (Nord-Cameroun). Rapport final TSD/A216 CAM (5). IRA-IRGM (Cameroun) ; ORSTOM, CEPE/CNRS (France) ; CCE, Bruxelles, 232 p.

CHEVALIER (P.), 1983. — L'indice des précipitations antérieures. Evaluation de l'humectation des sols des bassins versants représentatifs. Cah. ORSTOM Sér. Hydrol.., Vol. XX, n° 3 et 4 : pp. 179-189.

CHEVALIER (P.), 1986. — Note sur les écarts observés entre les pluviomètres standard et les pluviomètres au sol en Afrique de l'Ouest. Journées Hydrologiques de Montpellier. Colloques et séminaires ORSTOM : pp. 53-64.

DA COSTA DOS REIS SILVA, 1986. — Essai d'élaboration et d'utilisation d'un modèle spatialisé de simulation des crues (concept d'unités participantes). Thèse d'Université. Université des Sciences et Techniques du Languedoc. Montpellier, 206 p. + Annexes.

FLORET (C.), PONTANIER (R.), 1982. — L'aridité en Tunisie présaharienne. Trav. et Doc. ORSTOM, n° 150, Paris, 544 p.

THEBE (B.), 1987. — Hydrodynamique de quelques sols du Nord— Cameroun. Bassins versants de Mouda. Contribution à l'étude des facteurs d'échelle. Thèse d'université. Université des Sciences et Techniques du Languedoc. Montpellier, 238 p. + Annexes.

Bernard THÉBÉ
ORSTOM, avenue du Val de Montferrand
BP 5045, 34032 Montpellier Cedex 01 (France)

DYNAMIQUE SAISONNIÈRE DE LA VÉGÉTATION EN SAVANE SAHÉLO-SOUDANIENNE

Le cas des sols Hardé

par Josiane SEGHIERI, écologue, ORSTOM
et Christian FLORET, écologue, ORSTOM

Progression de la végétation herbacée et ligneuse aux dépens des zones dénudées d'un sol Hardé.

RÉSUMÉ

La végétation du sol Hardé de Mouda comprend une strate arbustive très pauvre, dominée par *Dichrostachys cinerea* et *Lannea humilis*, et une strate herbacée constituée presque exclusivement par des graminées annuelles parmi lesquelles domine *Schoenefeldia gracilis*. Le recouvrement herbacé est très faible (de 5 à 8 %) et la hauteur de cette strate dépasse rarement 10 cm.

Pendant deux années, les auteurs ont mesuré les précipitations, la quantité d'eau contenue dans le sol, les températures et ils ont suivi l'évolution des ligneux et des herbacées (phénologie, recouvrement, composition floristique).

Les herbacées adaptent leur cycle de vie à la quantité d'eau disponible dans le sol. La sécheresse climatique de la région, accentuée par l'aridité édaphique du sol Hardé (ruissellement), entraîne une certaine uniformisation des phénologies. Il y a très peu d 'espèces herbacées qui peuvent coloniser ce milieu (8 à Mouda) car elles doivent être capables de se fixer, de germer très rapidement et d'arriver à mobiliser les rares ressources en eau disponibles au profit de la fructification, tout en s'investissant très peu dans la production de biomasse.

Les espèces ligneuses sont beaucoup plus indépendantes vis-à-vis de la période pendant laquelle l'eau est disponible dans le sol. La plupart perdent leurs feuilles en saison sèche, pendant une durée variable suivant les espèces mais certaines, comme *Balanites aegyptiaca*, les conservent en permanence. Parmi les acacias, *Acacia senegal* fleurit en début de saison des pluies, *Acacia gerrardii* au milieu de celle-ci et *Acacia hockii*, à la fin. D'autres espèces fleurissent plusieurs fois dans l'année.

La plante ne peut photosynthétiser et fleurir en saison défavorable que si elle a la capacité soit de stocker puis de remobiliser des réserves hydriques acquises en saison des pluies, soit d'extraire l'eau à des potentiels supérieurs à celui correspondant au $\Phi = -1{,}6$ mPa.

Le système racinaire de toutes les plantes est principalement concentré dans les horizons superficiels. Les graminées annuelles développent un chevelu racinaire dense dans un volume limité de sol, alors que les ligneux émettent de longues racines latérales (plus de 10 m), dont la faible densité est compensée par la pérennité qui permet le captage des premières pluies infiltrées.

Pour étudier la variation de l'évolution du recouvrement herbacé en fonction des scénarios pluviométriques, l'auteur a irrigué des carrés de 5 m^2 en début de saison des pluies. En première année, ceci a permis le développement d'une importante biomasse ; en deuxième année, sans aucune irrigation, le recouvrement herbacé a également été très important sur ce carré, car le paillis d'herbe morte de l'année précédente a facilité l'infiltration de l'eau, la fixation et la germination des graines. A partir de cet îlot végétalisé, le tapis herbacé recolonise progressivement le sol Hardé par un front de colonisation constitué de *Schoenefeldia gracilis*.

Sur ce type de sol, plus que sur tout autre, la répartition des pluies est plus importante que leur quantité, car le stockage d'eau est très limité. Celles-ci doivent humidifier le substrat assez longtemps pour que les phases de germination et de levée puissent s'accomplir, puis maintenir une hygrométrie de l'air au niveau du sol suffisante pour maintenir les plantules en vie. C'est pourquoi l'application de techniques visant à limiter le ruissellement des pluies et à améliorer l'infiltrabilité du sol devrait permettre de réhabiliter ces milieux.

ABSTRACT

The vegetation of the Mouda Hardé soils is composed of a very poor shrubby strata dominated by *Dichrostachys cinerea* and *Lannea humilis*, and a herbaceous strata which is almost exclusively made up of annual grasses, among the dominant ones of which is *Schoenefeldia gracilis*. Herbaceous vegetation cover is very small (5 to 8%), and the height of this strata is rarely above 10 cm.

For a period of two years, the authors measured the rainfall, water content of the soil, and temperature. They also followed up the evolution of woody trees and the herbaceous vegetation (phenology, vegetation cover, floristic composition).

Herbaceous plants adapt their life cycle to the available quantity of water in the soil. The drought condition of the region, accentuated by the aridity of the Hardé soils calls for a certain harmonization of phenologies. There are very few herbaceous species which will colonize this environment (8 at Mouda), because species must be able to germinate rapidly and to mobilize and utilize the scarce available water resources in favour of reproduction at the expense of biomass production.

Woody species are much more independent as far as the period of water availability in the soil is concerned. Most of them lose their leaves in the dry season, during a specific period which varies with species, but others like *Balanites aegyptiaca* keep their leaves. Among the acacias, *Acacia senegal* produces flowers at the beginning of the rainy season, *Acacia gerrardii* in the middle of the rainy season, and *Acacia hockii* at the end of the season. Other species flower several times in course of the years.

The possibility for the processes of photosynthesis and flowering to take place during an unfavourable season implies the existence of the means, either to store and reuse water reserves obtained in the rainy season, or to extract water from superior potentials to that corresponding to $PF_{4.2}$.

The root system of all the plant species is essentially concentrated in the upper level horizons. Annual gramineae develop a root system network which is concentrated in a limited soil volume, while woody plants send out long lateral roots (more than 10 m), the sparse density of which is compensated for by the perenity of the roots, which allow for the capture of infiltrated water of the first rains.

To study the variation in surface colonization by herbaceous plants, taking into consideration the pluviometric scenario, the author irrigated areas of 5 m^2 at the beginning of the rainy season. In the first year, this permitted the development of an important biomass. In the second year, and without further irrigation, surface recolonization of the squares by herbaceous vegetation was very significant because the mulch from the dead vegetation of the previous year facilitated the infiltration of water and hence the establishment and germination of seeds. The Hardé soil progressively becomes recolonized by *Schoenefeldia gracilis* from the initial colonized spot.

Rainfall repartition is more important than quantity on this type of soil than on any other type because water storage possibilities are very limited. These soils must be humidified for a long time before germination and growth of seeds can take place. For the germinated seeds to survive, the atmospheric humidity must also be maintained at a minimum level. This is why the use of techniques which aim at limiting rainfall runoff and at improving soil infiltration potentials ought to make it possible to rehabilitate these environments.

Malgré une pluviosité annuelle de 800 mm par an, répartie de juin à octobre dans le secteur sahélo-soudanien du Nord-Cameroun (LETOUZEY, 1985), la végétation sur sol Hardé bénéficie de beaucoup moins d'eau disponible que celle sur vertisols en bon état.

En effet, la surface du sol Hardé se caractérise par la présence d'une pellicule de battance généralisée de quelques millimètres d'épaisseur, qui diminue considérablement la perméabilité du sol (CASENAVE, VALENTIN, 1987). Elle entraîne un ruissellement important des précipitations et une forte évaporation du sol. L'analyse du comportement saisonnier de la végétation sur ce type de sol très particulier, issu de la surexploitation par l'homme, constitue un complément intéressant aux études hydrologiques et pédologiques de ces milieux. En effet, l'analyse phénologique permet d'établir les schémas d'utilisation par les plantes du flux hydrique qui les alimente ; les périodes d'activité de la végétation sont celles pendant lesquelles l'eau lui est accessible. Comment les plantes répondent-elles localement sur ce type de milieu à des disponibilités hydriques aussi faibles et utilisables pendant aussi peu de temps ?

MILIEU ET MÉTHODES UTILISÉES

Le sol Hardé considéré ici fait partie de la séquence de dégradation du vertisol modal du bassin versant de Mouda, qui se situe à 30 km au sud de Maroua au Cameroun (cf. CCE, 1988 ; SEINY-BOUKAR, 1990 ; SEGHIERI, 1990). La profondeur sur laquelle se manifestent les phénomènes de dégradation atteint principalement les vingt premiers centimètres. Ils se traduisent par une forte baisse de la teneur en matière organique, de la capacité d'échange cationique et du taux d'argile, ainsi que par l'acidification du substrat. L'eau infiltrée ne représente que 20 à 50 % de la pluie (THEBE, 1987). Si la réserve utile (R.U.) est faible en surface (R.U. = 7,5 mm sur les 10 premiers centimètres), le niveau argileux vertique, qui apparaît dès 15-20 cm de profondeur, confère au profil une meilleure capacité de rétention de l'eau en profondeur (R.U. = 60 mm sur les 40 premiers centimètres) (PONTANIER *et al*, 1985).

La végétation est typique des sols Hardé de la région, avec deux strates :

- **Une strate arbustive**, dominée par *Dichrostachys cinerea* et *Lannea humilis*, auxquelles s'ajoutent *Balanites aegyptiaca*, *Capparis ssp.*, *Cissus quadrangularis* et plusieurs espèces d'acacia dont les plus communes sont *Acacia gerrardii* et *Acacia senegal*.

- **Une strate herbacée**, constituée presque exclusivement d'espèces annuelles graminéennes ; elle est dominée par *Schoenefeldia gracilis*, *Microchloa indica* et *Aristida hordeacea*. En début de saison des pluies, une Liliacée, plante à bulbe, se répand en abondance par plages et fleurit rapidement ; il s'agit de *Drimiopsis* cf. *barteri*. Le recouvrement herbacé moyen est très faible (de 5 à 8 %) et tout à fait hétérogène ; la hauteur de la strate herbacée dépasse rarement 10 cm. Le stock de graines viables du sol n'est pas négligeable mais semble inexistant au-delà de 10 cm de profondeur (cf. tableau, p. 58). *Schoenefeldia gracilis* domine également sous forme de semences. L'absence de *Microchloa indica* et d'*Aristida hordeacea* dans le stock n'est pas significative car les conditions de germination, dans lesquelles les échantillons de sol prélevés ont été mis, n'étaient vraisemblablement pas favorables à ces deux espèces.

Stock de graines du sol Hardé en zone de sol nu et en zone de végétation Nombre de graines/m² (SEGHIERI, 1990)

Strate		Sol nu			Végétation		
Espèce\profondeur (cm)		0-5	5-10	10-15	0-5	5-10	10-15
1	*Schoenefeldia gracilis*	173	36		858	4	
2	*Loudetia togoensis*	4	4		36		
3	*Schizachyrium exile*	4			40		
4	*Andropogon pseudapricus*				80		
5	*Finbristylis hispidula*				4		
6	*Brachiaria stigmatisala*	9					
7	*Setaria pumila*				13		
	Total	190	40	0	1 031	4	0

L'étude a duré deux ans (1986 et 1987). La hauteur des précipitations et la quantité d'eau contenue dans le sol ont été mesurées au cours de ces deux années. Un humidimètre à neutrons (type SOLO 20) a été utilisé pour les 80 premiers centimètres de sol ; on a, de plus, utilisé la méthode pondérale dans les vingt premiers. L'eau disponible pour les plantes est, à chaque instant et pour chaque tranche de sol de 10 cm d'épaisseur, la quantité totale d'eau contenue dans le sol soustraite de la quantité d'eau contenue au point de flétrissement permanent ($\Phi = -1{,}6$ mPa). Les températures et l'hygrométrie de l'air étaient mesurées de façon journalière à la station météorologique de Maroua. L'évolution de la feuillaison, de la floraison et de la fructification des principales espèces ligneuses et de toutes les espèces herbacées a été suivie d'avril 1986 à novembre 1987, pour les espèces ligneuses et, durant chacune des deux saisons des pluies, pour les espèces herbacées. L'évolution du recouvrement herbacé a également été suivi au cours de chaque saison des pluies jusqu'à ce qu'il atteigne sa valeur maximale.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

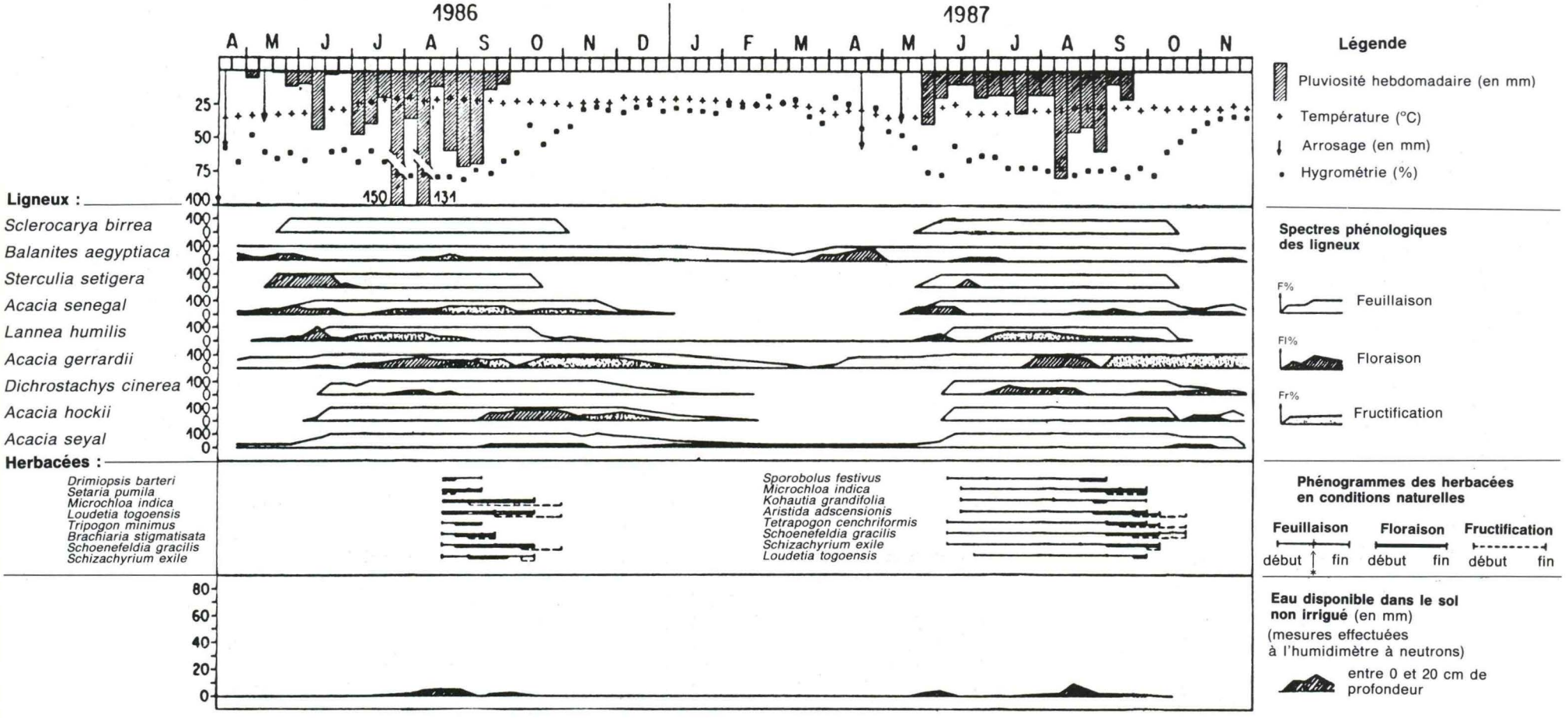
■ Phénologie de la végétation ligneuse et herbacée

Les résultats sont présentés dans la figure 1 ci-contre. Ils montrent l'opposition entre la forte concentration de l'activité des espèces herbacées, annuelles et pérennes (*Sporobolus festivus* et *Drimiopsis barteri*) et l'étalement des phases phénologiques des espèces ligneuses.

En fait, le sol Hardé ne contient pas d'eau disponible à un potentiel supérieur à $\Phi = -1{,}6$ mPa au-delà de 20 cm de profondeur. Les périodes d'activités des plantes herbacées sont très liées à celles où l'eau est disponible dans le sol, malgré les faibles quantités de cette ressource. La grande plasticité phénologique des espèces herbacées des savanes tropicales africaines, en particulier annuelles, leur permet d'adapter leur cycle de vie aux conditions de l'environnement. A l'échelle de la communauté, cette plasticité spécifique conduit à une concentration des phases phénologiques au fur et à mesure que la durée de la période, pendant laquelle la ressource hydrique est accessible, raccourcit (FOURNIER, 1990). C'est pourquoi, lorsque le milieu se fait excessivement contraignant comme sur sol Hardé, il se dessine une uniformisation des phénologies ; on a le même phénomène en passant du sud au nord de l'aire de répartition des savanes, lorsque la saison des pluies devient de plus en plus courte. CISSE (1986) aboutit à des conclusions semblables en montrant que la redistribution des pluies par le substrat conduit à localiser des espèces à cycle long dans les dépressions, où l'eau est abondamment disponible sur une longue période, et à localiser des espèces à cycle court sur les pentes et en haut de topographie, où le ruissellement induit une grande précarité de la ressource hydrique.

De plus, sur sol Hardé, l'investissement des espèces herbacées dans la croissance est faible ; celles qui arrivent à s'installer se développent très peu (elles présentent un nanisme marqué) mais se reproduisent. Le succès de régénération de l'espèce est donc assuré par ses possibilités d'installation et son aptitude à s'approprier les ressources disponibles au cours des stades antérieurs à la phase de reproduction. Son abondance relative au moment de la floraison détermine considérablement la quantité de graines que l'espèce produira, c'est-à-dire son potentiel d'installation pour l'année suivante. L'abondance relative de l'espèce en fin de croissance dépend, d'une part, de sa vitesse de germination et d'installation (compétitivité) et, d'autre part, de la résistance de sa population au stress hydrique. La contrainte hydrique étant très forte sur sol Hardé, et associée à l'irrégularité des pluies en début de saison (fig. 1), peu d'espèces réussissent effectivement à s'installer. On a dénombré huit espè-

FIGURE 1
Phénologie de la végétation sur sol Hardé en relation avec les principaux paramètres climatiques (SEGHIERI, 1990)



ces en 1986 et huit en 1987 sur le planosol contre 18 et 19 respectivement chaque année sur le vertisol en bon état, soit plus du double.

Les espèces ligneuses présentent, contrairement aux espèces herbacées, une indépendance beaucoup plus grande de leurs rythmes d'activité vis-à-vis de la période pendant laquelle l'eau est disponible dans le sol (fig. 1, p. 59). En effet, certaines restent en feuilles toute l'année, comme *Balanites aegyptiaca* ; les autres sont dépourvues de feuillage en saison sèche, mais montrent des durées variables de cet état. Des comportements spécifiques très différents sont également observables en ce qui concerne la période de reproduction (floraison et fructification). *Sterculia setigera, Acacia senegal* et *Lannea humilis* fleurissent en début de saison des pluies. Pour *Acacia gerrardii* et *Dichrostachys cinerea,* la floraison est plus tardive et se situe en pleine saison des pluies, tandis qu'*Acacia hockii* et *Acacia seyal* commencent à fleurir en fin de saison des pluies. Certaines espèces enfin montrent un comportement qui peut paraître surprenant en fleurissant plusieurs fois dans l'année. Il s'agit surtout de *Balanites aegyptiaca,* mais également d'*Acacia senegal* et d'*Acacia seyal.* Cette stratégie a été constatée également par d'autres auteurs ayant travaillé en savane sèche, sur des sols moins dégradés. Par exemple, dans un secteur d'étude proche de Mouda, à Laf, NOUVELLET (1987) note l'apparition puis la disparition de fleurs en avril sur *Combretum glutinosum.* L'auteur précise que des floraisons, suivies de fructifications, ont aussi été observées en avril au Niger sur cette espèce. POUPON (1979) mentionne une deuxième floraison en janvier-février d'*Acacia senegal* en secteur sahélien au Sénégal. Sur le sol Hardé de Mouda, une fructification suivait la floraison seulement au moment où de l'eau était disponible dans le sol (fig. 1). Autrement dit, malgré une plasticité certaine de la floraison chez ces espèces ligneuses, son succès pour la reproduction sexuée (la fructification) semble dépendre fortement des conditions hydriques du milieu. Par ailleurs, la possibilité de photosynthétiser et de fleurir en saison défavorable implique l'existence de moyens, soit de stocker puis de remobiliser des réserves hydriques acquises en saison des pluies (KEMP, 1983 ; Seghieri, 1990), soit d'extraire l'eau à des potentiels supérieurs correspondant au : $\Phi = -1{,}6$ mPa (CHAIEB, 1989 ; MONROY-ATA, 1989).

Dans le sol Hardé, la faible profondeur du front d'humectation, associée à des disponibilités hydriques faibles sur de très courtes durées, suggère l'existence d'une forte concurrence entre les espèces ligneuses et herbacées. En effet, il n'y a pas de stratification des systèmes racinaires des espèces ligneuses, ni de complémentarité des couches de sol exploitées respectivement par les racines des plantes ligneuses et des plantes herbacées ; elles se développent toutes dans les couches superficielles du sol (SEGHIERI, 1990). En revanche, ces deux composants de la savane n'ont pas le même mode d'exploitation de la ressource hydrique. Les graminées développent un chevelu racinaire dense dans un volume limité de sol (système assez compact). De ce fait, l'absorption rapide de quantités d'eau abondantes, nécessaires à leur activité photosynthétique et à leur transpiration importante, n'est possible que si ce petit volume de sol est exploité intensément (WALTER,

Photo 1 : En saison sèche, fixation du crochet des semences de *Schoenefeldia gracilis* dans les microfentes d'un sol Hardé.

Photo 2 : En début de saison des pluies, germination des graines de *Schoenefeldia gracilis* qui profitent de l'infiltration de l'eau au niveau des microfentes.

1971). Les espèces ligneuses émettent au contraire, dans leur quête de l'eau, de très longues racines latérales subhorizontales qui peuvent atteindre plus de dix mètres de long (obs. pers.). Un très grand volume de sol est ainsi exploité par chaque individu. La faible densité du système est compensé par sa pérennité, qui permet le captage rapide d'une proportion importante des premières pluies infiltrées.

■ Variations de l'évolution du recouvrement herbacé en fonction des scénarios pluviométriques

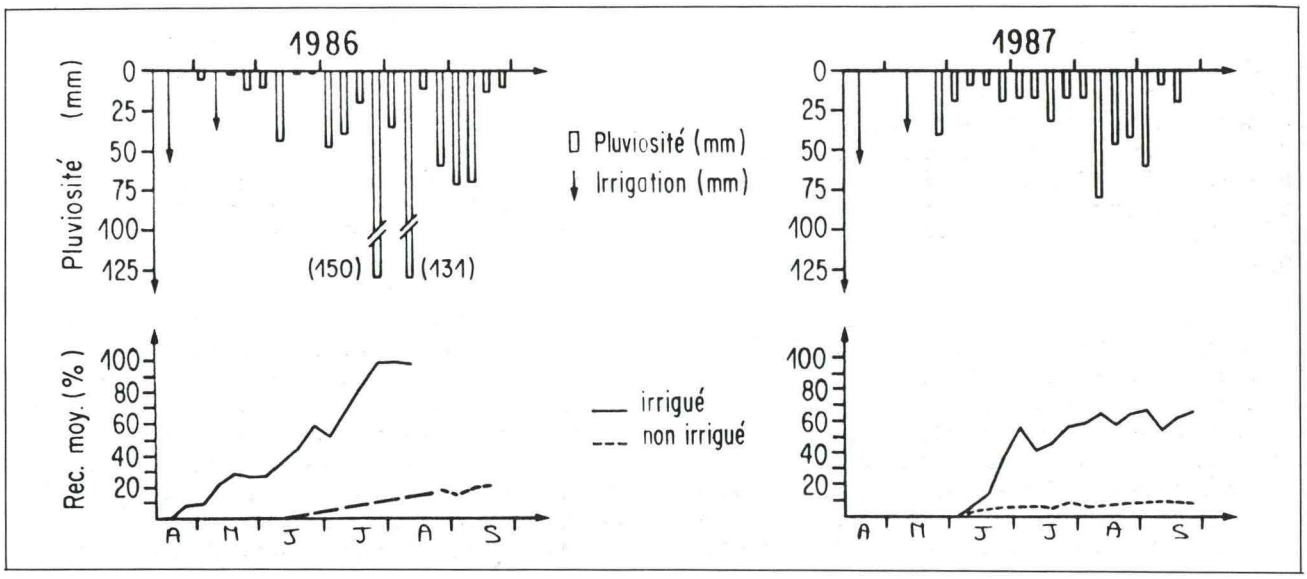
Afin d'avoir deux scénarios pluviométriques supplémentaires, on a arrosé chaque année une surface circulaire de 5 m^2 en début de saison des pluies par deux apports : 100 mm en avril et 60 mm en mai. La technique utilisée limitait considérablement le ruissellement, contrairement aux pluies naturelles, de sorte que l'eau apportée s'est infiltrée. De plus, la perméabilité du sol a été vraisemblablement augmentée à l'endroit de l'irrigation, d'où une meilleure pénétration des pluies naturelles qui ont suivi par rapport à la surface non irriguée.

La végétation a répondu par un développement devenu, très vite, plus important sur la surface irriguée que sur celle laissée en conditions exclusivement naturelles (fig. 2). De plus, la photo 3, prise en juillet 1987, montre l'état du recouvrement sur la surface irriguée seulement en 1986 et l'état du recouvrement sur la surface irriguée l'année où a été prise la photo

Photo 3 : Surface irriguée en 1986 mais pas en 1987 (avant-plan) et surface irriguée en 1987 seulement (arrière-plan). Date de prise de vue : juillet 1987. *Photo SEGHIERI.*

(1987) : sans intervention la deuxième année, la réinstallation du tapis herbacé est donc un succès. La dynamique du système est relancée et *Schoenefeldia gracilis* constitue le front de colonisation du sol nu à partir du cercle arrosé (photo 4, p. 62). Cette espèce fait partie à la fois des espèces résiduelles de la succession régressive, engendrée par la dégradation du vertisol, et des espèces pionnières de la succession progressive secondaire, susceptible de s'initier sur sol

FIGURE 2
Evolution du recouvrement herbacé (Rec.moy.) sur sol Hardé et de la pluviosité hebdomadaire en 1986 et 1987, pour chaque traitement (irrigué ou non) (SEGHIERI, 1990)



Hardé à la suite d'un « accident » favorable. Elle constitue la plus grosse part du potentiel de régénération de ces milieux.

L'évolution saisonnière du recouvrement sous irrigation n'a pas été semblable les deux années (fig. 2). En 1986, le démarrage est en effet très précoce (dès le mois d'avril) par rapport à celui de la végétation non irriguée et le développement est très progressif (pente assez douce de la courbe). En revanche, en 1987, le début du développement continu du tapis herbacé n'a pas été plus précoce sur la surface irriguée ; mais le recouvrement s'est accru très rapidement en début de saison (juin) ; sa valeur était proche du maximum dès le début du mois de juillet (près de 60%). Ce résultat met en évidence l'importance de la répartition des premières pluies sur le début de l'enherbement. En effet, en 1986, les deux arrosages ont été suivis de semaines relativement pluvieuses ; en 1987, au contraire, les irrigations ont eu lieu en période de sécheresse climatique absolue. Ainsi, même si la hauteur des premières pluies est élevée (comme simulée par les irrigations en 1987), la régularité de leur répartition est primordiale pour déterminer le début de l'enherbement pendant une saison donnée: d'une part, elles doivent humidifier le substrat assez longtemps pour que les phases de germination et de levée puissent s'accomplir complètement (MERLIER, 1972 ; BREMAN *et al*, 1982 ; GROUZIS, 1987) et, d'autre part, elles doivent permettre le maintien d'une hygrométrie de l'air suffisante au niveau du sol, afin de limiter l'évapotranspiration et maintenir les plantules en vie ; enfin, il y a eu 750 mm de pluies en 1986 contre 560 mm en 1987. Le recouvrement final du tapis herbacé était plus important en 1986 qu'en 1987 (fig. 2). Ce résultat, obtenu sur sol Hardé en termes de recouvrement, est comparable à ceux obtenus par de nombreux auteurs en milieux aride et semi-aride en termes de biomasse (BILLE, 1976 ; COOK et SIMS, 1975 ; LE HOUEROU et HOSTE, 1977 ; CORNET, 1981 ; DE RIDDER *et al.*, 1982). Il existe une corrélation étroite entre la pluviosité et le développement du tapis herbacé. SEGHIERI (1990) a montré les limites de cette relation dans le secteur d'étude (bassin versant de Mouda), sur des sols en meilleur état où l'eau disponible est rarement une ressource limitante au coeur de la saison des pluies. Dans ce cas, à partir d'un seuil de pluviosité qu'il reste à déterminer, le recouvrement final ne croît plus avec l'augmentation des pluies.

Photo 4 : Front de colonisation du sol nu à partir de la surface irriguée en 1986 seulement par les graines de *Schoenefeldia gracilis. Photo SEGHIERI.*
Date de prise de vue : juillet 1987

CONCLUSION

Si les sols Hardé accentuent l'effet de la sécheresse climatique saisonnière par une aridité édaphique marquée (SEINY-BOUKAR, 1990), leur « stérilité » n'est pas irréversible. Elle est due à un dysfonctionnement hydrique (FLORET, PONTANIER, 1984), une faible infiltrabilité et une forte évaporation. L'application de techniques visant à limiter le ruissellement des pluies et à améliorer l'infiltrabilité du sol devrait permettre de réhabiliter ces milieux. Des études visant à préciser les modalités d'intervention à effectuer sont en cours actuellement (PELTIER, 1989 ; IRA, 1990). En effet, dans la mesure où l'eau s'infiltre, la bonne capacité de rétention et l'importance de la réserve hydrique du sol conduisent à un développement herbacé comparable à celui obtenu sur des milieux non dégradés du même secteur (vertisol modal notamment). Tous les sols Hardé n'ont pas les mêmes potentialités de régénération. Il en existe qui ont atteint un niveau de dégradation ultime. Ils ne présentent plus d'intérêt car leur stabilité est telle que le coût d'une éventuelle réhabilitation est trop élevé pour qu'elle puisse être mise en pratique. Il est donc nécessaire de localiser les zones où il est possible de régénérer les milieux dégradés et de pratiquer la mise en défens, plus ou moins longue en fonction de l'état de dégradation, afin de permettre à la végétation naturelle de se réinstaller avec, en particulier, des annuelles à cycle de vie long et des herbacées pérennes. Des semis d'espèces pionnières comme *Schoenefeldia gracilis* seraient également envisageables pour accélérer le processus. BOUDET (1990) propose un certain nombre de modèles d'intervention pour améliorer la gestion des parcours sahéliens, qui pourraient tout à fait être appliqués dans les secteurs sahélo-soudaniens déjà fortement atteints par la dégradation. ■

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BILLE, (J.C.), 1976. — Etude de la production primaire nette d'un écosystème sahélien. Thèse ès Sciences. Université de Paris-Sud, Orsay, 82 p.

BREMAN, (H.), CISSE, (A.M.), DJITEYE (M.A.), ELBERSE (W.Th.), 1982. — Le potentiel botanique des pâturages. *In* PENNING DE VRIES F.W.T. et DJITEYE M.A. : La productivité des pâturages sahéliens. Une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, pp. 98-132.

C.C.E., 1988. — Utilisation et conservation des ressources en sol et en eau (Nord-Cameroun). IRA-IRGM-ORSTOM-CNRS, rapport de fin de contrat T.D.S. A.216 CAM (5), ronéo, 232 p.

CHAIEB, (M.), 1989. — Influence des réserves hydriques du sol sur le comportement comparé de quelques espèces végétales de la zone sud-tunisienne. Thèse de Doctorat. Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 292p.

CISSE, (A.M.), 1986. — Dynamique de la strate herbacée des pâturages de la zone sud-sahélienne. PPS, Wageningen, 211 p.

COOK, (C.W.) et SIMS (PH.), 1975. — La sécheresse et ses effets sur l'évolution de la productivité et de la production des animaux au pâturage. Actes du colloque de Bamako (Mali) sur l' »Inventaire et cartographie des pâturages tropicaux africains », 3-8 mars 1975, CIEA, Addis-Abeba, pp. 163-170.

CORNET (A.), 1981. — Le bilan hydrique et son rôle dans la production de la strate herbacée de quelques phytocéonoses sahéliennes au Sénégal. Thèse de Docteur-Ingénieur. Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 353 p.

DE RIDDER (N.), STROOSNIJDER (L.) et CISSE (A.M.), 1982. — La productivité des pâturages sahéliens. Une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource. Textes du cours PPS, tome 1, théorie. Université Agronomique, Wageningen, 237 p.

FOURNIER (A.), 1990. — Phénologie, croissance et production végétale dans quelques savanes d'Afrique de l'Ouest. Variation selon un gradient de sécheresse. Thèse de Doctorat. Université P. et M. Curie, Paris VI, 477 p.

GROUZIS, (M.), 1987. — Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens (Mare d'Oursi, Burkina Faso). Thèse ès Sciences. Université de Paris-Sud, Orsay, 336 p.

IRA., 1990. — Réhabilitation et utilisation des terres marginales du Nord-Cameroun. Rapport de campagne 1989, ronéo, 55 p.

KEMP, (P.R.), 1983. — Phenological patterns of Chihuahuan desert plant in relation to the timing of water availability. J. of Ecology 73 : pp. 235-253.

LE HOUEROU, (H.N.) et HOSTE, (C.H.), 1977. — Rangeland production and annual rainfall relations in the mediterranean basin and in African Sahelo-Sudanian zone. J. of Range Manag., 30, (3) : pp. 181-189.

LETOUZEY, (R.), 1985. — Carte phytogéographique du Cameroun au 1/500 000, 1) Domaine sahélien et soudanien. IRA (Herbier National), Yaoundé. — Institut de la Carte Internationale de la Végétation, Toulouse, pp. 1-26.

MERLIER, (H.), 1972. — Synthèse des études phénologiques des espèces de jachère du Centre-Sénégal. Agron. Trop., vol. XXVII, 12 : pp. 1 229-1 252.

MONROY-ATA, (A.), 1989. — Installation de plantes pérennes de la zone aride soumises à des contraintes hydriques contrôlées et à des coupes. Thèse de Doctorat. Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 166 p.

NOUVELLET, (Y.), 1987. — Fiches techniques de diverses essences de la région de Maroua. MESRES-IRA-CRF Maroua (Cameroun), 73 p.

PELTIER, (R.), 1989. — Un essai sylvo-pastoral au Nord-Cameroun. Bois et Forêts des Tropiques, n° 221, pp. 3-23.

POUPON, (H.), 1979. — Etude de la phénologie de la strate ligneuse à Fété-Olé (Sénégal septentrional) de 1971 à 1977. Bull. IFAN tome 41, ser.A, n° 1 : pp.44-85.

SEGHIERI, (J.), 1990. — Dynamique saisonnière d'une savane soudano-sahélienne au Nord-Cameroun. Thèse de Doctorat. Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 200 p.

SEINY-BOUKAR, (L.), 1990. — Régime hydrique et érodibilité des sols au nord du Cameroun. Propositions d'aménagement. Thèse de 3ème cycle. Université de Yaoundé, Faculté des Sciences, Département des Sciences de la Terre, 230 p.

WALTER, (H.), 1971. — Ecology of tropical and sub-tropical vegetation. Olver and Boyd eds., Edinburg, pp. 238-298.

Josiane SEGHIERI
ORSTOM, Avenue de Maradi
BP 11416, Niamey (Niger)

Christian FLORET
ORSTOM
BP 1386, Dakar Hann (Sénégal)

RÉHABILITATION D'UN SOL HARDÉ D'ORIGINE VERTISOLIQUE

par Paul DONFACK, phytoécologue IRA
Dominique MASSE, agropédologue ORSTOM
et Lamine SEINY-BOUKAR, pédologue IRA

Sur sol Hardé, toute modification du régime hydrique change profondément la dynamique de la végétation herbacée.

RÉSUMÉ

Les auteurs décrivent des méthodes d'économie de l'eau, testées sur un vertisol dégradé de Mouda, qui entrent dans le groupe des sols Hardé. Il s'agit du « pitting », fosses de 1 × 0,3 × 0,15 m espacées de 1 m entre elles, sur la ligne et entre les lignes. Elles sont placées en courbe de niveau et en quinconce. Les « bandes alternées » consistent à alterner des bandes labourées de 15 × 15m et des bandes non labourées faisant office d'impluvium. Trois labours en première année, et un en deuxième, permettent d'incorporer la biomasse végétale. Le troisième traitement, dénommé « microcatchment » est identique au précédent avec, en plus, une diguette en aval de la bande labourée. Enfin, le « témoin » n'est pas aménagé.

Le régime hydrique est mesuré tout au long de l'année, à l'aide d'une sonde à neutrons. Des relevés de végétation sont effectués, chaque année, à différentes phases du cycle de développement de la strate herbacée, grâce à la méthode des points cadrats qui donne la fréquence des espèces, le taux de recouvrement et le recouvrement global de la végétation. Des analyses de sol permettent de suivre l'évolution des caractéristiques chimiques et le taux de matière organique.

Quant à l'infiltration de l'eau dans le sol, elle ne concerne que les dix premiers centimètres sur le témoin, alors qu'elle atteint 30 cm la première année et 40 cm la deuxième sur les bandes labourées, avec ou sans diguette.

L'amélioration due au « pitting » est localisée sur une auréole de 30 cm autour du trou.

Concernant la dynamique de la végétation naturelle, le témoin est caractérisé par la faible richesse spécifique d'espèces adaptées aux conditions difficiles du milieu, telles que *Schoenefeldia gracilis*, et par un recouvrement d'environ 30 %.

Le labour avec ou sans diguettes améliore non seulement le recouvrement de la strate herbacée, qui peut atteindre 100 % par endroits, mais aussi la richesse floristique. On voit ainsi apparaître une trentaine de nouvelles espèces, dont beaucoup se cantonnent d'ordinaire dans les bas-fonds humides. Le « pitting » a les mêmes effets mais la végétation se concentre autour des trous.

Ces premiers résultats favorisent les techniques modifiant l'état de surface du sol, tel le labour qui casse la pellicule de battance. L'amélioration du régime hydrique se fait lentement, mais la végétation répond très rapidement. Les auteurs pensent que l'enfouissement de cette végétation devrait aider une remontée biologique de ces sols et améliorer ainsi leur régime hydrique.

ABSTRACT

The authors describe the water economizing methods which were tested on the Hardé soils of Mouda. The first treatment consists of making pits (pitting) of 1 × 0.3 × 0.15 m with 1 metre spacing between pits on each line and between lines. In the second treatment there are ploughed strips of 15 × 15 m which alternate with impervious unploughed strips. Ploughing was done three times in the first year and once in the second year. The available biomass was incorporated into the soil during ploughing. A third treatment called the « microcatchment », is similar to the preceding one but with a dyke below each ploughed strip. The last treatment is the control which received no management.

The water regime is measured throughout the year using a gamma neutron probe. A grid is used annually to measure the frequency of represented species and the rate of ground colonisation at different phases of the development of the herbaceous vegetation. The evolution of the chemical characteristics of the soil and the organic matter content are followed up through soil analysis.

Water infiltrated only into the first 10 cm of the control experiment while infiltration was 30 cm and 40 cm in the first and second year respectively on the ploughed strips (with or without the dykes).

Soil condition improvement due to « pitting » was localized on an area of 30 cm around the hole.
As for natural vegetation dynamics, the control was characterized by about 30% ground coverage by specific species like *Schoenefeldia gracilis* which are adapted to the harsh conditions of the environment.

Ploughing (with or without dykes) did not only improve the herbaceous ground cover which could be up to 100% on certain spots but also the floristic richness. The appearance of about 30 new species most of which are normally found only in the humid bottom lands could be seen. « Pitting » had the same effects but the vegetation was concentrated around the holes.

These first results clearly favour the use of techniques aimed at modifying the surface state of the soil such as ploughing which breaks up the hardened layer. The improvement of the water regime takes place slowly but vegetation response is very rapid. The authors think that the incorporation of this vegetation into the soil ought to help in the building up of the biological soil content and thus help to improve the water regime.

Dans la représentation schématique des systèmes écologiques de Mouda (rapport CEE 1988, SEINY-BOUKAR 1990), on observe une séquence vertisolique de dégradation dont les principaux éléments sont le vertisol modal (VM), le vertisol dégradé (VD) et le sol Hardé (HV). Les deux derniers éléments (VD et HV) correspondent à des faciès de dégradation du vertisol modal. Nous les désignons par le terme de « terre marginale » à cause du caractère faible et instable de leur productivité en culture pluviale.

Les caractéristiques des sols Hardé s'expriment par une diminution de la réserve utile du sol et de la profondeur maximale humectée, par une baisse de l'efficacité des précipitations dans la recharge des réserves hydriques du sol et, en conséquence, par une diminution de la réserve d'eau disponible pour les végétaux, d'où le caractère marginal de ces sols.

C'est pour améliorer leur production qu'ont été entrepris les essais de réhabilitation des sols Hardé appartenant à la série vertisolique de Mouda.

Les techniques de réhabilitation testées visent à diminuer, voire stopper, le ruissellement, augmenter l'infiltration de l'eau vers les horizons sous-jacents et allonger le calendrier des disponiblités en eau, pour améliorer le régime hydrique et concourir à une remontée biologique de ces sols.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

■ La zone test de Mouda

L'étude est menée sur le bassin versant de Mouda, une zone test représentative de la plaine du Diamaré par sa composition floristique et ses types de sols. Située à 30 km au sud de Maroua et à proximité de l'axe routier Maroua-Garoua, cette zone est soumise, dans son ensemble, au climat de cette région dont la moyenne interannuelle des précipitations est de 780 mm. Le bassin versant étudié couvre une superficie de 1 810 ha environ ; les crêtes de ce bassin sont constituées de collines et de plateaux dominant faiblement une plaine vertisolique; l'altitude de la zone varie de 440 m à 600 m.

■ Description du sol Hardé de Mouda

• Le sol

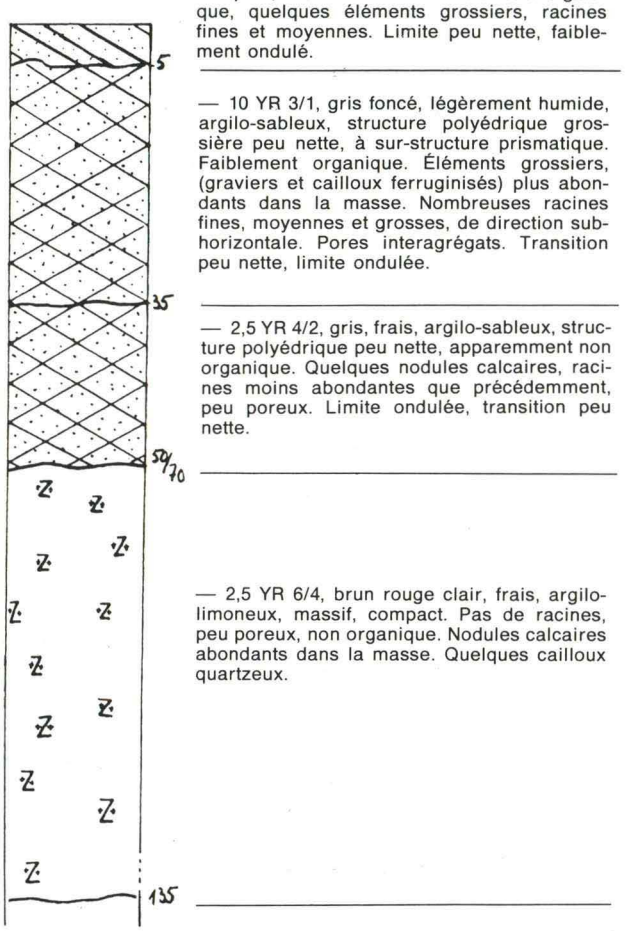
Le profil du sol Hardé de Mouda se caractérise par un horizon superficiel sablo-argileux massif et compact, recouvert d'une épaisse pellicule de battance. Cet horizon massif, épais de 5 à 20 cm, recouvre un horizon sous-jacent argileux et vertique, présentant des nodules calcaires dans la masse vers 50/70 cm (fig. 1, p. 68).

• La végétation

La végétation se caractérise par un pauvre couvert végétal discontinu et une faible richesse spécifique. Ceci est vrai à la fois pour le couvert arboré et le tapis herbacé ; pour le sol Hardé de Mouda, le couvert ligneux est caractérisé par les espèces suivantes : *Balanites aegyptiaca, Lannea humilis* et *Dalbergia melanoxylon.* A ces espèces caractéristiques sont associées quelques autres telles que *Acacia seyal, Acacia hockii, Sclerocarya birrea, Dichrostachys glomerata.* Le couvert total de cette strate ligneuse ne dépasse pas 5 % de la surface du sol.

Les herbacées les plus fréquentes , qui représentent à elles seules 90 % de la couverture spécifique, sont *Schoenefeldia gracilis, Sporobolus festivus, Tripogon minimus, Loudetia togoensis* et *Anthericum sp.* L'ensemble du couvert herbacé atteint 75 % environ en pleine période de végétation.

FIGURE 1
Description du profil pédologique sur sols Hardé



■ Dispositif expérimental

L'objectif est de faire infiltrer le maximum de l'eau perdue par ruissellement qui, à l'échelle de l'année, peut largement dépasser 50 % (THEBE, 1987). Dans les traitements testés, on ne s'intéresse qu'à des aménagements concernant la maîtrise de l'eau (impluvium, pitting, etc.), ainsi qu'à la remontée biologique de ces sols, principalement par l'enfouissement de la matière organique. Les trois traitements sont les suivants :

- **Le pitting** : confection de fosses de 1 × 0,3 × 0,15 m, espacées de 1 m sur et entre les lignes. Les fosses sont placées perpendiculairement à la pente et en quinconce pour permettre un meilleur captage des eaux de ruissellement.

- **Les bandes alternées** : alternance de bandes labourées et de bandes non labourées faisant office d'impluvium. On a donc une supplémentation en eau de ruissellement de la bande labourée se situant en aval. Les bandes mesurent 15 × 5 m et sont perpendiculaires à la pente. Des labours sont effectués durant la saison des pluies pour incorporer la biomasse végétale et assurer ainsi un enrichissement en matière organique (trois labours la première année et un la deuxième année) ; le dernier labour a lieu fin août.

- **Le microcatchment** : traitement identique au système des bandes alternées avec, en plus, une diguette en aval de la bande labourée pour contenir les éventuelles eaux de ruissellement sur le labour. On procède également à des enfouissement de la végétation naturelle.

Par ailleurs, **la mise en défens** est effectuée sur tous les traitements, y compris le témoin.

L'expérimentation comprend deux blocs (deux répétitions) de quatre parcelles (trois traitements + un témoin sans aménagement). Les parcelles mesurent 30 × 15 m.

■ Indicateurs observés

Les indicateurs physiques et biologiques suivants sont observés :

- **Indicateurs physiques** : un suivi du régime hydrique est assuré tout au long de l'année. Il se fait par des mesures d'humidité volumique à l'aide d'une sonde à neutrons. Quatorze tubes d'accès de sonde ont été placés sur l'un des deux blocs. Des mesures de caractérisation du ruissellement et de l'érosion sont prévues au bout de quatre années de suivi.

- **Indicateurs biologiques** : des relevés de végétation sont effectués chaque année à différentes phases du cycle de développement de la strate herbacée. La méthode utilisée est celle des points quadrats. Elle permet de suivre des modifications aussi bien qualitatives que quantitatives de la végétation (lignes de 10 m de cent points de lecture chacune). Cette méthode consiste à évaluer la fréquence des différentes espèces rencontrées et en déduire un taux de recouvrement. Elle permet aussi de calculer le recouvrement global de la végétation.

Enfin, des **analyses de sols** permettront de suivre l'évolution des caractéristiques chimiques, notamment en ce qui concerne le taux de matière organique et le degré d'agrégation.

PREMIERS RÉSULTATS

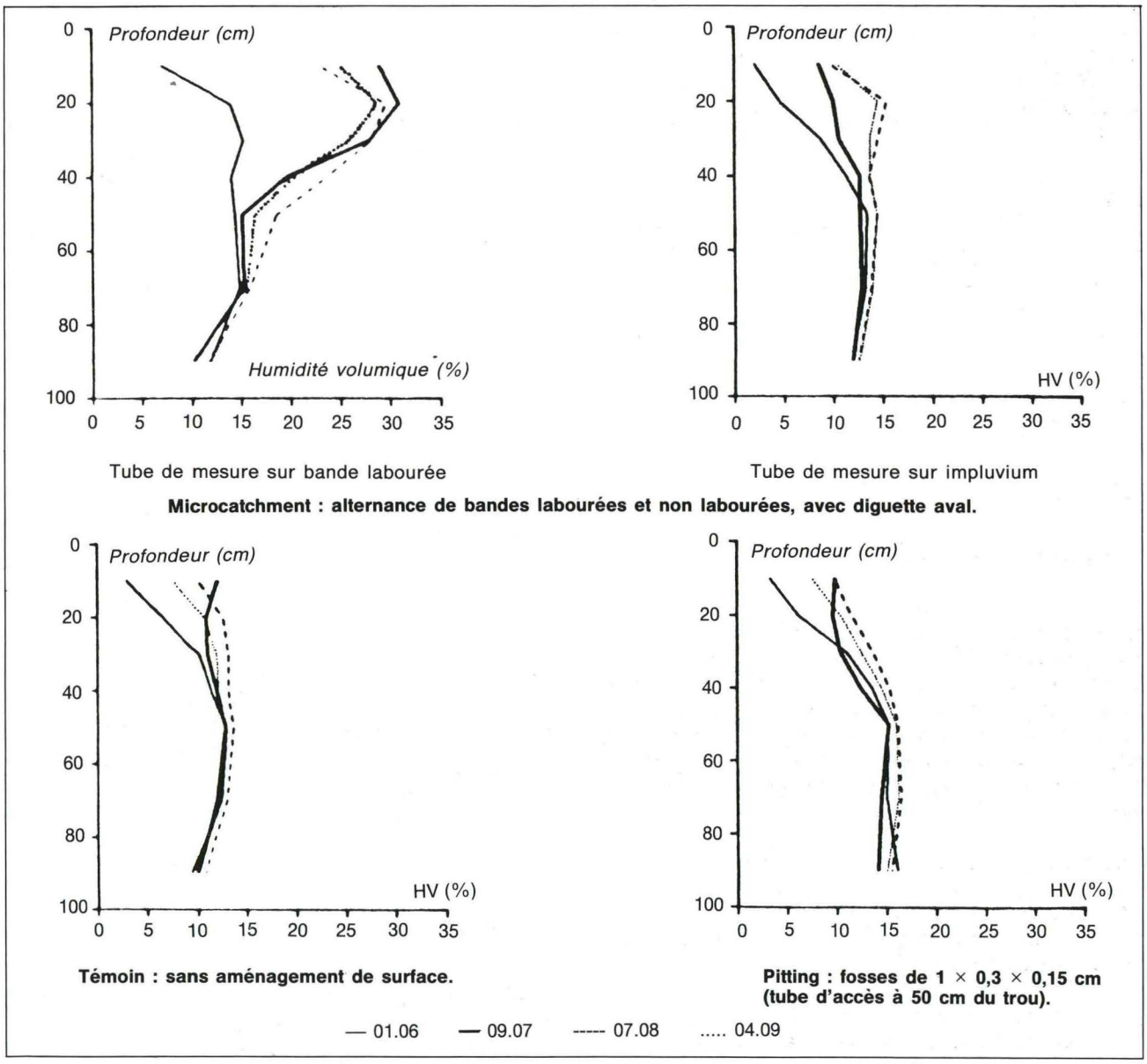
■ Amélioration du régime hydrique des terres

Signalons que, malgré les aménagements réalisés, le ruissellement n'a pu être totalement endigué.

Le profil hydrique mesuré sur parcelle mise en défens, sans aménagement hydraulique (témoin), présente peu de variations au cours de la saison des pluies; l'humidité volumique reste constante autour de 10 à 15 % entre 30 et 90 cm. Lors de fortes pluies, le front d'humectation peut atteindre les trente premiers centimètres (fig. 2).

Le labour améliore le régime hydrique, c'est-à-dire il augmente la profondeur d'humectation et donc la profondeur de la zone de variation de l'humidité, au cours de la saison. Toutefois, cette profondeur atteinte n'est que de 30 à 35 cm la première année et de 50 cm, la deuxième année. Les gains de stock en eau sont de l'ordre de 40 mm sur les bandes labourées ; ce gain est lié à l'augmentation de la profondeur humectée (fig. 2).

FIGURE 2
Profils hydriques pour la saison 1990
humidité volumique = f (profondeur)



La différence entre la technique des bandes alternées et celle du microcatchment n'est pas significative (nombre de répétitions trop faible).

L'amélioration due au pitting est localisée. Elle est perceptible sur une auréole de 20 à 30 cm autour du trou, bien marquée par la végétation.

La technique du labour semble être la plus rapide pour améliorer le régime hydrique des sols Hardé du type de Mouda. Il faudra toutefois suivre l'effet de labours successifs sur la structure du sol, ainsi que leur influence sur le taux de matière organique.

■ Dynamique de la végétation naturelle

Les parcelles sans aménagement présentent une végétation caractéristique des sols Hardé. Les traits essentiels en sont une faible richesse spécifique et des espèces adaptées aux conditions difficiles du milieu, telles que *Schoenefeldia gracilis, Tripogon minimus, Dipcadi viride, Drimiopsis barteri.* Le recouvrement est également très faible, de l'ordre de 20 à 40 % au maximum de la végétaion.

Le labour améliore non seulement le recouvrement de la strate herbacée (jusqu'à 100 % par endroits) mais également la richesse floristique (cf. tableau ci-après). On compte environ une trentaine d'espèces qui germent dans les bandes labourées et qui sont absentes ou rares hors des aménagements. Parmi ces dernières, les espèces de milieu humide occupent une position de choix de par leur recouvrement : *Echinochloa colona, Cyperus spp., Oryza barthii, Rhytachne triaristata,* etc.

Les traitements en bandes alternées et en microcatchment ne provoquent pas de différences perceptibles sur la végétation. La répétitivité des labours ne favorise évidemment pas les espèces pérennes.

Quant au pitting, la tendance est la même que sur les bandes labourées: augmentation de la richesse floristique et du recouvrement, avec de fortes valeurs à l'emplacement des trous et sur une auréole de 10 à 20 cm.

Recouvrement global et richesse floristique sous deux types d'aménagements : Bandes alternées et microcatchment

		Recouvrement global moyen (%)	Nombre d'espèces moyen
Bandes alternées	impluvium	75	8,5
	labour	87,5	11,5
Microcatchment	impluvium	47	6,5
	labour	86	10,5

CONCLUSION

Le dispositif expérimental visant à réhabiliter les sols Hardé de la série vertisolique de Mouda a été mis en place en mai 1989. Le suivi est prévu pour quatre années. Les premiers résultats semblent favoriser les techniques modifiant l'état de surface du sol, tel le labour qui « casse » la pellicule de battance. On remarquera, cependant, que l'amélioration du régime hydrique se fait lentement sous les différents aménagements et montre ainsi des circulations d'eau difficiles dans ce type de sols.

En revanche, la végétation répond très rapidement aux différents traitements par augmentation de la richesse floristique et du recouvrement. La modification floristique est plus spectaculaire sur parcelle labourée. L'enfouissement de cette végétation, de plus en plus dense et diversifiée, devrait favoriser une remontée biologique de ces sols, améliorer par la suite leur régime hydrique et confirmer ou infirmer les conclusions de GUIS (1976), qui avait eu des résultats concluants dans son essai de réhabilitation de sol Hardé.

Les prochaines années devraient nous permettre de préciser l'intérêt de ces traitements dans le cadre d'une remise en culture ou d'un aménagement à but pastoral. En particulier, vu la faible efficacité des traitements hydrauliques effectués pour limiter, voire supprimer le ruissellement et forcer ainsi l'infiltration, il est envisagé des traitements de surface visant à quadriller l'espace par des casiers. ■

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CEE, IRA, ORSTOM, 1986. — Utilisation et conservation des ressources en sol et en eau au Nord-Cameroun. Rapport final.

CLAUDE, (J.), FLORET, (C.), PONTANIER, (R.), 1989. — Rapports de mission au Cameroun. Maroua, 11 au 25 mars 1989, 25 août au 9 septembre 1989.

CNS, IRA, ORSTOM, 1990. — Réhabilitation et utilisation des terres marginales au Nord-Cameroun. Rapport de campagne.

SEINY-BOUKAR, (L.), 1990. — Régime hydrique et dégradation des sols dans le Nord-Cameroun. Thèse Doc. 3ème cycle. Université de Yaoundé, 226 p. + annexes.

THEBE, (B.), 1987. — Hydrodynamique de quelques sols du Nord-Cameroun. Bassins versants de Mouda. Contribution à l'étude des transferts d'échelle. Thèse Doc. Université Sciences et Techniques du Languedoc. Montpellier, 238p + annexes.

Dominique MASSE
ORSTOM
BP 1386 Dakar Hann (Sénégal)

Paul DONFACK et Lamine SEINY-BOUKAR
Institut de la Recherche Agronomique
BP 33 Maroua (Cameroun)

RÉGÉNÉRATION DE LA VÉGÉTATION SPONTANÉE D'UN SOL HARDÉ

Effet des techniques d'économie de l'eau et du travail du sol

par Paul DONFACK, phytoécologue IRA
et Christian FLORET, écologue ORSTOM

Installation de la végétation herbacée spontanée sur les diguettes de Salak, deux ans après leur mise en place.

RÉSUMÉ

Les auteurs ont fait un suivi de l'évolution de la végétation herbacée et ligneuse sur la station de Salak.

Avant aménagement, la végétation a un couvert inférieur à 30 % ; elle est caractérisée par *Guiera senegalensis* pour les ligneux et par *Schoenefeldia gracilis* pour les herbacées.

La mise en protection et le travail du sol favorisent la régénération de nombreuses espèces ligneuses par voie végétative ou sexuée.

La mise en place de diguettes augmente très fortement le recouvrement des herbacées et leur taille moyenne ; elle favorise l'installation ou le développement d'espèces indicatrices de milieux plus humides. Les fosses en anneaux ou rectangulaires concentrent la végétation autour de ces aménagements.

Certains arbres comme *Acacia nilotica, Dalbergia sissoo* et *Sclerocarya birrea,* favorisent le recouvrement des herbes à leur pied, tant qu'ils n'ont pas un trop grand développement végétatif. Une ombre légère est favorable à certaines espèces herbacées comme *Pennisetum pedicellatum.*

ABSTRACT

The authors studied the evolution of herbaceous and woody vegetation on the Salak station.

The vegetational cover was less than 30% before the management process began and was characterized by the presence of *Guiera senegalensis* (for the woody species) and by *Schoenefeldia gracilis* (for the herbaceous vegetation).

Site protection and soil preparation favour the regeneration of many woody species through vegetative or sexual reproduction.

The provision of a network of dykes greatly favours site covering by herbaceous vegetation and height development of the species which are indicators of more humid environments.

The concentric or rectangular pits dictate the concentration of the growth of vegetation only around these management areas.

Some trees like *Acacia nilotica, Dalbergia sissoo* and *Sclerocarya birrea* enduce the growth of herbaceous vegetation around their stems for as long as the trees themselves have not developed too many branches or leaves. Light shade favours the development of certain herbaceous species such as *Pennisetum pedicellatum.*

Si la végétation du Nord-Cameroun a été globalement étudiée dans son ensemble par LETOUZEY (1968), on sait peu de choses sur celle des faciès dégradés. Les unités de végétation, correspondant au sol connu sous le nom local de sol Hardé, ont cependant fait l'objet d'une étude descriptive assez détaillée (FOTIUS, 1974). Les autres travaux publiés sur ce sujet ne comportent que des descriptions sommaires, descriptions dans lesquelles on retrouve les termes « absence par taches du tapis végétal », « espèces de dégradation » (LETOUZEY, 1985), « cordons réticulés de graminées délimitant une mosaïque de surfaces dénudées » (BRUNEAU DE MIRE, 1975). La végétation des sols Hardé se caractérise en effet par une faible richesse floristique, une répartition spatiale irrégulière et discontinue du tapis végétal, un très faible recouvrement et une flore particulière. Cet état dégradé de la végétation concerne à la fois le tapis herbacé et le couvert ligneux (CNS, 1990).

Récemment, des études pluridisciplinaires s'intensifient pour rechercher des solutions aux problèmes des sols Hardé du Nord-Cameroun, où une déstructuration des horizons de surface entraîne leur quasi-imperméabilisation. Pédologues, forestiers, agronomes... cherchent à comprendre le mécanisme de la dégradation et tentent de réhabiliter ces systèmes écologiques. L'une des questions qu'ils se posent est de savoir si la régénération de la végétation naturelle est possible grâce à certains aménagements ou si la dégradation est irréversible.

L'Institut de la Recherche Agronomique (IRA) et le Département forestier du CIRAD (CIRAD-Forêt) ont testé l'influence, sur la végétation, des aménagements mis en place sur la station de **Salak-Gaklé**, installée sur sol Hardé depuis 1985. Ces aménagements ont trait au travail du sol (sous-solage, casiers à diguettes, trous rectangulaires ou en anneau, etc.) associés à l'introduction des espèces ligneuses locales et exotiques, avec protection contre le feu et le pâturage. Les différents aménagements et leurs conséquences sur la réhabilitation du milieu sont décrits dans les articles de J.-M. HARMAND et O. EYOG MATIG. C'est dans cette station qu'ont été menés les travaux sur la régénération de la végétation spontanée, qui fait l'objet de cet article.

Les observations sur la végétation naturelle ont été effectuées seulement à partir d'octobre 1989, soit quatre années après les aménagements. Nous présenterons ici séparément l'étude des ligneux et celle des herbacées.

RECOLONISATION PAR LES LIGNEUX SPONTANÉS

MILIEU ET MÉTHODES UTILISÉES

La végétation arbustive des sols Hardé de **Salak** avant traitement est caractérisée par les espèces ligneuses suivantes : *Guiera senegalensis, Capparis corymbosa, Balanites aegyptiaca* et *Calotropis procera*. Les autres ligneux rencontrés ne sont qu'accidentels. Le recouvrement de cette strate ne dépasse pas 2 %. La répartition des espèces n'est pas uniforme. On note une concentration de *Guiera senegalensis*, là où prédomine un recouvrement de sable non consolidé. Le même constat a été fait sur le sol Hardé de **Lagadgé** (LAMOTTE, 1989). Le tapis herbacé est dominé par *Schoenefeldia gracilis*. Les autres espèces sont *Eragrostis gangetica, Brachiaria xantholeuca, Schizachyrium exile, Loudetia togoensis*. L'ensemble du couvert dépasse rarement 30% en saison des pluies, sauf à certains endroits comme, par exemple, sous les arbustes ou dans le peuplement à *Guiera senegalensis*.

Depuis les aménagements de 1985 et 1986, les plantes ligneuses spontanées, qui n'avaient d'ailleurs pas été éliminées par les traitements, se développent progressivement pour se mélanger aux espèces forestières plantées. Ce « retour » semble être influencé par le travail du sol, par le couvert des espèces introduites et par la protection contre le feu et le pâturage. Les questions suivantes se posent :

- Les aménagements testés entraînent-ils un changement de la flore par rapport au témoin non aménagé ?
- Les modifications apportées ont-elles favorisé la disparition ou l'apparition de nouvelles espèces ?
- Par quels mécanismes se fait le développement des ligneux spontanés absents du sol Hardé à l'origine ?

MÉTHODE D'ÉTUDE

On a procédé à l'inventaire exhaustif de la végétation ligneuse sur chaque parcelle d'essais. Pour chaque espèce, on a compté tous les individus. Pour les principales espèces, on a noté le mode d'installation par examen du système racinaire issu de germination de graines ou de repousses végétatives, ainsi que l'âge approximatif des individus les plus grands (par comptage des cernes de croissance sur la section de tige).

L'inventaire a porté sur les six parcelles de l'essai comme l'indique le tableau I.Les parcelles T1 et T2 ont été prises en zone dégradée en dehors des aménagements

Malheureusement, il n'y avait pas eu d'inventaire des ligneux avant l'installation des essais. Par ailleurs, la station n'est pas homogène, du moins en ce qui concerne la végétation. Enfin, dans le cadre de cette étude, il n'a pas été tenu compte des différents travaux du sol à l'intérieur d'un même essai. En effet, sur les essais 85-01 et 86-02, on n'a pas établi de distinction entre les traitements non travaillés, sous-solés ou aménagés contre le ruissellement à l'aide de diguettes ou de fossés.

Il ne s'agit donc que d'un premier travail qui demande a être précisé.

TABLEAU I

Superficie des parcelles d'échantillonnage des espèces ligneuses et travaux du sol

Numéro des essais	85-01	85-02	86-01	86-02	T1	T2
Protection contre le bétail et la coupe	oui	oui	oui	oui	non	non
Travaux du sol	plusieurs	sous-solage	sous-solage	plusieurs		
Superficie (ha)	2,56	1,28	0,74	1,28	2,00	2,00

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Le tableau II présente les résultats de l'inventaire des ligneux spontanés

Les parcelles aménagées montrent la présence différentielle d' individus de *Piliostigma reticulatum*. On ignore si cette espèce existait déjà dans les parcelles, avant les aménagements ou si ceux-ci ont favorisé son installation. Quelques espèces se retrouvent à la fois dans les parcelles d'essais et en dehors. C'est le cas de *Calotropis procera, Guiera senegalensis, Balanites aegyptiaca* et *Capparis corymbosa*. Ces espèces se distinguent dans les parcelles protégées montrant une croissance plus rapide.

La parcelle 85-01 se révèle floristiquement plus riche et plus densément peuplée. Bien que l'hétérogénéité des parcelles due au substrat soit évidente, on peut soupçonner l'influence positive qu'ont eue certains aménagements de surface, appliqués dans cette parcelle, sur la multiplication du nombre d'individus.

Guiera senegalensis, Combretum aculeatum et *Capparis spp.* se sont multipliés à partir de rejets sur drageons et rarement à partir de souches. *Calotropis procera* s'est mis en place par germination. Quant à *Balanites aegyptiaca*, il se multiplie par des germinations et des repousses végétatives.

TABLEAU II

Nombre d'individus des espèces ligneuses présentes dans les parcelles d'essais

N°	Espèces par parcelles	85-01	85-02	86-01	86-02	T1	T2
1	*Guiera senegalensis*	142	22	01	03	16	13
2	*Balanites aegyptiaca*	21	04	05	05	07	17
3	*Calotropis procera*	28	25	08	11	05	05
4	*Capparis corymbosa*	01	05	—	01	08	—
5	*Piliostigma reticulatum*	11	02	02	05	—	—
6	*Combretum aculeatum*	01	01	—	—	01	01
7	*Ziziphus mauritiana*	04	—	—	01	—	—
8	*Dalbergia sissoo*	01	—	—	01	—	—
9	*Leptadenia hastata*	01	01	—	—	—	—
10	*Acacia albida*	01	—	01	—	01	—
11	*Capparis sp.*	—	—	—	—	—	01
12	*Bauhinia rufescens*	01	—	—	—	—	—
13	*Acacia seyal*	—	—	—	—	—	01
14	*Solanum sp.*	—	—	—	—	—	01
15	*Azadirachta indica*	—	—	—	—	—	01
16	*Cf. Leptadenia*	01	—	—	—	—	02
Nombre total d'individus		213	60	17	28	38	39
Nombre d'individus par ha		83,0	47,0	26,5	22,0	19	20

DYNAMIQUE DE LA STRATE HERBACÉE

MÉTHODE D'ÉTUDE

Nous avons étudié, d'une part, l'influence du travail du sol sur la végétation herbacée et, d'autre part, l'influence de quelques espèces ligneuses sur la même strate. Un premier passage a permis de réaliser quatre à cinq relevés de végétation par essai. On est arrivé rapidement à la conclusion que l'ensemble des traitements améliore le recouvrement et la richesse floristique par rapport aux zones non aménagées. L'hétérogénéité du milieu ne masque pas cette tendance.

Après cette étape, nous avons concentré nos observations dans les essais 86-02 et 85-01, où nous avons réalisé 32 relevés à raison de 16 par essai. Dans l'essai 86-02, les relevés sont répartis dans l'ensemble de la parcelle à raison d'un relevé par traitement (il y a quatre traitements et quatre répétitions) et, dans l'essai 85-01, nous avons cherché l'influence de quatre espèces ligneuses soumises à un même type d'aménagement : les diguettes.
La méthode utilisée pour la réalisation des relevés est celle de l'aire minimale (inventaire des espèces sur des

surfaces de taille croissante jusqu'à disparition plus apparition de nouvelles espèces) ; cette aire est voisine de 32 m^2. On a dressé la liste des espèces herbacées, avec estimation du recouvrement pour chacune des espèces, sous les ligneux et en dehors du couvert des ligneux. On a aussi noté la hauteur moyenne de la strate herbacée dans chaque relevé.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats présentés ici sont une moyenne des observations effectuées dans chaque relevé, par traitement.

Le tableau III illustre cette influence. Il concerne l'essai 86-02 qui ne comporte qu'une seule espèce ligneuse, *Acacia senegal.*

Il ressort de la lecture du tableau III que les casiers à diguettes augmentent nettement le recouvrement de la strate herbacée sur toute la surface du sol. L'effet favorable des autres traitements est localisé surtout sous les ligneux, c'est-à-dire à proximité des fossés (rectangulaires ou en anneau). La hauteur moyenne de la strate herbacée est nettement favorisée par les diguettes. Cependant, par rapport au témoin, les traitements contribuent aussi à augmenter la taille moyenne des herbacées. Il en est de même pour la richesse floristique qui est plus élevée dans tous les traitements.

Les différents traitements testés ont contribué, à des degrés variés, à augmenter le recouvrement de plusieurs espèces : *Schoenefeldia gracilis, Setaria pumila,*

TABLEAU III

Influence des aménagements de surface et du couvert des *Acacia senegal* sur le recouvrement, la hauteur et le nombre des espèces herbacées spontanées dans l'essai 86-02 de Salak

Travail du sol	Recouvrement (%)			Hauteur moyenne des herbacées (cm)	Nombre d'espèces
	Global	Sous-ligneux	Hors-ligneux		
Diguettes	85	87	80	99	29
Trous rectangulaires	67	75	41	62	31
Trous en anneau	64	80	37	74	27
Témoins non aménagés	32	58	15	36	19

TABLEAU IV

Influence des aménagements de surface sur le recouvrement (%) des espèces herbacées spontanées dominantes dans l'essai 86-02 de Salak, planté en *Acacia senegal*

N°	NOM DE L'ESPECE	Trous rectangulaires	Diguettes	Trous en anneau	Témoin
1	*Schoenefeldia gracilis*	32,5	65,5	40,0	27,5
2	*Setaria pumila*	20,0	11,2	23,7	03,7
3	*Eragrostis gangetica*	06,2	25,0	08,7	r
4	*Pennisetum pedicellatum*	06,2	23,7	20,0	02,5
5	*Zornia glochidiata*	05,0		10,0	02,5
6	*Brachiaria xantholeuca*	05,0	01,2	05,0	
7	*Rhamphicarpa fistulosa*	03,7	06,2		
8	*Cyperus iria*	02,5	13,7	r	
9	*Spermacoce stachydea*	02,5	02,5	02,5	r

N.B. : r renvoie aux recouvrements très faibles.
Le chiffre qui le précède renseigne sur la rareté de l'espèce.

Eragrostis gangetica, Pennisetum pedicellatum et *Spermacoce stachydea,* par rapport au témoin (tableau IV, p. 76). Les diguettes ont favorisé l'installation ou le développement des espèces indicatrices de milieux plus humides : *Rhamphicarpa fistulosa, Echinochloa colona, Cyperus spp., Eriochloa nubica* et *Fimbristylis sp.*

• Influence des différentes espèces ligneuses plantées sur la végétation herbacée

Ce résultat est tiré de l'essai 85-01. Pour un même travail du sol (diguettes), on cherche l'influence de quatre espèces ligneuses : *Acacia nilotica, Azadirachta indica, Sclerocarya birrea* et *Dalbergia sissoo.*
Le témoin est aussi aménagé avec des diguettes mais sans introduction de ligneux.

D'après le tableau V, en dehors d'*Azadirachta indica,* les ligneux testés favorisent le recouvrement des herbes sous la canopée. Cependant, ce résultat n'est valable que pour les arbres qui n'ont pas encore un couvert végétal trop important. Au-delà d'un certain seuil de recouvrement, les ligneux ont plutôt un effet dépressif sur la strate herbacée, en général, et sur les graminées en particulier.

Il est difficile de comparer les influences respectives des espèces ligneuses. Les quatre espèces testées ont contribué, à des degrés divers, à augmenter le recouvrement en fonction de leur développement respectif.

Les parcelles plantées en espèces ligneuses, telles qu'*Azadirachta indica* et *Sclerocarya birrea,* montrent une légère augmentation du nombre d'espèces par rapport aux autres parcelles. L'ombre semble favorable au développement de *Pennisetum pedicellatum* et *Spermacoce stachydea* mais l'abondance de ces espèces dépend aussi du stade de développement des ligneux.

TABLEAU V

Influence de quelques espèces ligneuses plantées avec diguettes dans l'essai 85-01 de Salak sur le recouvrement et la hauteur de la strate herbacée Nombre d'espèces herbacées

Espèces ligneuses	Recouvrement (%)			Hauteur moyenne des herbacées (cm)	Nombre d'espèces
	Global	Sous-ligneux	Hors-ligneux		
Azadirachta indica	77,5	77,5	77,5	65	30
Acacia nilotica	65,0	70,0	52,5	62	27
Dalbergia sissoo	81,7	83,3	78,3	80	24
Sclerocarya birrea	68,3	78,3	58,3	73	30
Témoin	75,0	—	—	70	25

CONCLUSION

Bien qu'il n'y ait pas eu un suivi systématique de la végétation naturelle depuis, et surtout avant, la mise en place des essais, des observations réalisées cinq ans après permettent de tirer quelques conclusions sur la régénération de la végétation naturelle.
Les divers traitements ont contribué à favoriser les espèces qui existaient déjà sur le sol Hardé. On peut parler d'une véritable explosion pour *Schoenefeldia gracilis* et d'une amélioration du couvert de *Pennisetum pedicellatum* et *Eragrostis gangetica* (photos 1 et 2, p. 78).

D'autres espèces herbacées n'ont pas montré un changement notable. Il s'agit de *Spermacoce ruelliae, Schizachyrium exile, Brachiaria xantholeuca* et *Zornia glochidiata.* Ce groupe appartient pourtant aux espè-

Photo 1 : Essai 85-01, traitement en diguettes plantées d'*Acacia senegal* ; le développement relatif de *Pennisetum pedicellatum* est favorisé sous le houppier des arbres. Photo FLORET.

Photo 2 : Traitement en casier (diguette) de l'essai 86-02 ; l'important couvert végétal est dominé par *Schoenefeldia gracilis*. La diversité spécifique est plus grande sous les arbustes. Photo FLORET.

ces qui réagissent positivement à un labour récent. Il est possible que certaines d'entre elles aient pris de l'importance les premières années avant de céder la place à celles qui dominent actuellement.

Beaucoup d'autres espèces ont fait leur apparition dans le milieu aménagé, parfois de façon plus ou moins discrète. Ce sont : *Andropogon fastigiatus, Andropogon pseudapricus, Brachiaria lata, Setaria pumila*, etc.

Liste des espèces herbacées

1 *Schoenefeldia gracilis*
2 *Pennisetum pedicellatum*
3 *Brachiaria xantholeuca*
4 *Andropogon pseudapricus*
5 *Setaria pumila*
6 *Eragrostis gangetica*
7 *Zornia glochidiata*
8 *Crotalaria ononoides*
9 *Schizachyrium exile*
10 *Spermacoce stachydea*
11 *Andropogon fastigiatus*
12 *Mitracarpus villosus*
13 *Aristida adscensionis*
14 *Aristida hordeacea*
15 *Dactyloctenium eagyptium*
16 *Loudetia togoensis*
17 *Eragrostis sp.*
18 *Alysicarpus rugosus*
19 *Cassia mimosoides*
20 *Spermacoce ruelliae*
21 *Chloris pilosa*
22 *Corchorus tridens*
23 *Rhamphicarpa fistulosa*
24 *Cyperus iria*
25 *Cyperus sp.*
26 *Striga aspera*
27 *Panicum laetum*
28 *Spermacoce filifolia*
29 *Kyllinga sp.*
30 *Microchloa indica*
31 *Vernonia galamensis*
32 *Hibiscus asper*
33 *Sida cordifolia*
34 *Sporobolus festivus*
35 *Andropogon gayanus*
36 *Brachiaria lata*
37 *Cassia occidentalis*
38 *Centaurea perrottetii*
39 *Chrysanthellum americanum*
40 *Crotalaria sp.*
41 *Digitaria sp.*
42 *Eriochloa nubica*
43 *Euphorbia convolvuloides*
44 *Evolvulus alsinoides*
45 *Fimbristylis hispidula*
46 *Indigofera nummulariifolia*
47 *Ipomoea eriocarpa*
48 *Oldenlandia herbacea*
49 *Sida acuta*
50 *Sporobolus cordofanus*

L'ensemble des aménagements a contribué à régénérer le couvert herbacé et à provoquer un meilleur développement des ligneux spontanés. Si l'on considère que le couvert herbacé est inférieur à 30 % dans le Hardé non traité, on peut affirmer que chacun des traitements a un effet favorable, sauf à quelques endroits du traitement témoin de l'essai 86-02 (photo 3). De tous les traitements testés, le système de casiers à diguettes semblent particulièrement bénéfique pour l'amélioration du recouvrement herbacé.

On a également noté la recolonisation par le tapis herbacé de la surface dénudée à l'extérieur du dispositif, à partir de la limite des essais. En effet, les arbustes qui limitent la parcelle constituent un piège à sable et à graines. Les espèces qui initient cette recolonisation sont : *Dactyloctenium aegyptium, Schoenefeldia gracilis, Microchloa indica* et *Mitracarpus villosus.*

Le développement de la végétation introduite et naturelle devrait assurer un effet bénéfique sur le sol et sur son fonctionnement, et provoquer ainsi une évolution constante du couvert herbacé et ligneux ; d'où l'intérêt d'observations ultérieures et régulières. Toutefois, la question de la pérennité de l'amélioration du couvert végétal se pose, notamment en l'absence de protection contre le pâturage, l'exploitation du bois et le brûlis. ■

Paul DONFACK
Institut de la Recherche Agronomique
BP 33 Maroua (Cameroun)

Christian FLORET
ORSTOM
BP 1386 Dakar Hann (Sénégal)

Photo 3 : Traitement témoin de l'essai 86-02 ; la végétation herbacée est localisée seulement sous les pieds d'*Acacia senegal.* Ni l'espèce introduite, ni les herbes ne connaissent un développement important.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BRUNEAU DE MIRE, (Ph.), 1975 — A propos de la genèse des sols Hardé dans le Nord-Cameroun. Agro-Tropical. XXX, 3 : pp. 271-275.

C.C.E., 1988 — Utilisation et conservation des ressources en sol et en eau (Nord-Cameroun). IRA-IRGM-ORSTOM-CNRS, rapport de fin de contrat T.S.D.A.216 CAM(5), 232 p.

C.N.S, 1990 — Réhabilitation et utilisation des terres marginales du Nord-Cameroun. IRA/CNS, Rapport de campagne 1989, 59 p.

CRF, Antenne de Maroua, 1986 — Résultats des essais sylvicoles mesures 85-86. MESRES/IRA.

FOTIUS, (G.), 1974 — Rapport préliminaire sur la végétation du Nord-Cameroun, ORSTOM, 19 p.

LAMOTTE, (M.), 1989 — Etude d'un processus de désertification : cas de sols Hardé du Nord-Cameroun. Rapport de mission au Nord-Cameroun du 29 septembre au 22 novembre 1989, ORSTOM, France, 9 p.

LETOUZEY, (R.), 1968 — Etude phytogéographique du Cameroun. Encyclopédie Biologique-LXIX, Edition P. Lechevalier, Paris, 511 p.

LETOUZEY, (R.), 1985 — Carte phytogéographique du Cameroun au 1/500 000, Domaine sahélien et soudanien. IRA (Herbier National), Yaoundé. Institut de la carte internationale de la végétation, Toulouse : pp. 1-26.

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 m^3/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 m^3/ha/an, alors qu'*Azadirachta indica* produit plus de 2 m^3/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 m^3/ha/an pour *Acacia nilotica adstringens* et à plus de 2 m^3/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 15cm 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 m^3/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

of microcatchment systems. In the best of the cases (dykes) *Dalbergia sissoo* hardly produced 1 m^3/ha/yr. while *Azadirachta indica* produced 2 m^3/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 m^3/ha/yr. for *Acacia nilotica adstringens* and more than 2 m^3/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 recompactait. 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'imperméabilité 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 floculant 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 m^3 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 répétitions 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.

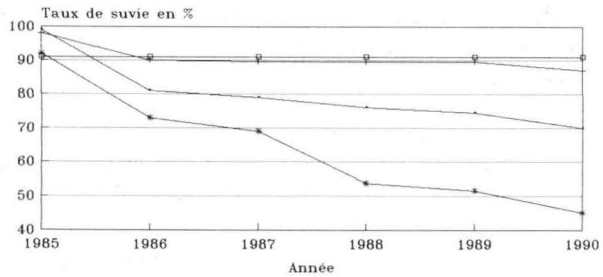
Le terrain exploité correspondant au bloc n° 1 de l'essai a été dessouché et mis en culture de sorgho en 1990.

■ 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).

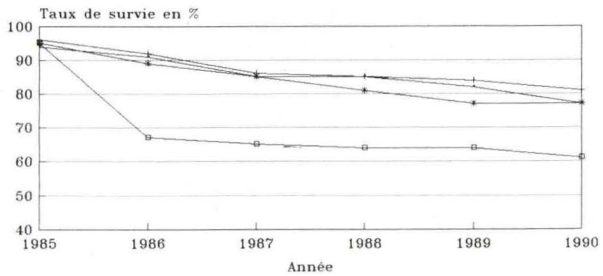
ESSAI SALAK 85.01

FIGURE 1



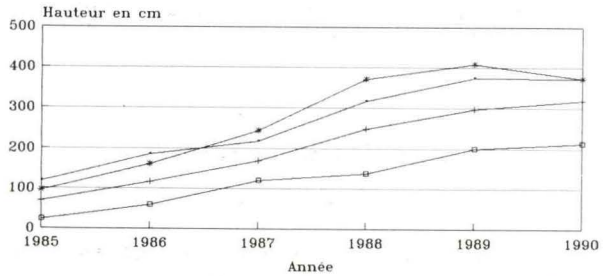
Taux de survie des espèces tous travaux de sol confondus.

FIGURE 2



Taux de survie moyen des arbres toutes espèces confondues.

FIGURE 3

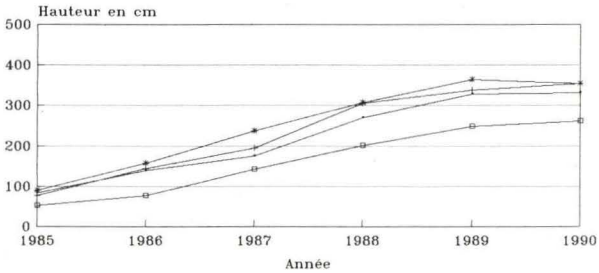


Croissance des espèces tous travaux de sol confondus.

Azadirachta indica — *Acacia nilotica ssp. adstringens* — *Dalbergia sissoo* — *Sclerocarya birrea*

1990 : calcul sans le bloc 1 + passage du feu

FIGURE 4



Croissance par type de travail du sol toutes espèces confondues.

Sous-solage — Diguette — Diguette et labour — Trouaison

1990 : calcul sans le bloc 1 + passage du feu

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
Azadirachta indica	Hm (cm)	282b	357a	379a	248b	358b	392b	434a	314c
	TS	83%	80%	83%	58%	80%	80%	80%	58%
Acacia nilotica ssp. adstringens	Hm (cm)	241a	273a	310a	169b	295a	328a	360a	207b
	TS	92%	94%	96%	77%	91%	94%	96%	77%
Dalbergia sissoo	Hm (cm)	377	399	420	286	426	416	455	336
	TS	67%	64%	51%	33%	65%	64%	45%	32%
Sclerocarya birrea	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	
Azadirachta indica	0,55	3,1	2	0,45	1,52
Acacia nilotica ssp. adstringens	1,64	1,67	1,6	0,1	1,25
Dalbergia sissoo	1	0,53	0,39	0,3	0,55
Sclerocarya birrea	0,54	2,36	2,27	0,21	1,34
Moyenne par type de travail	0,93	1,92	1,56	0,2	

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.

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).

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

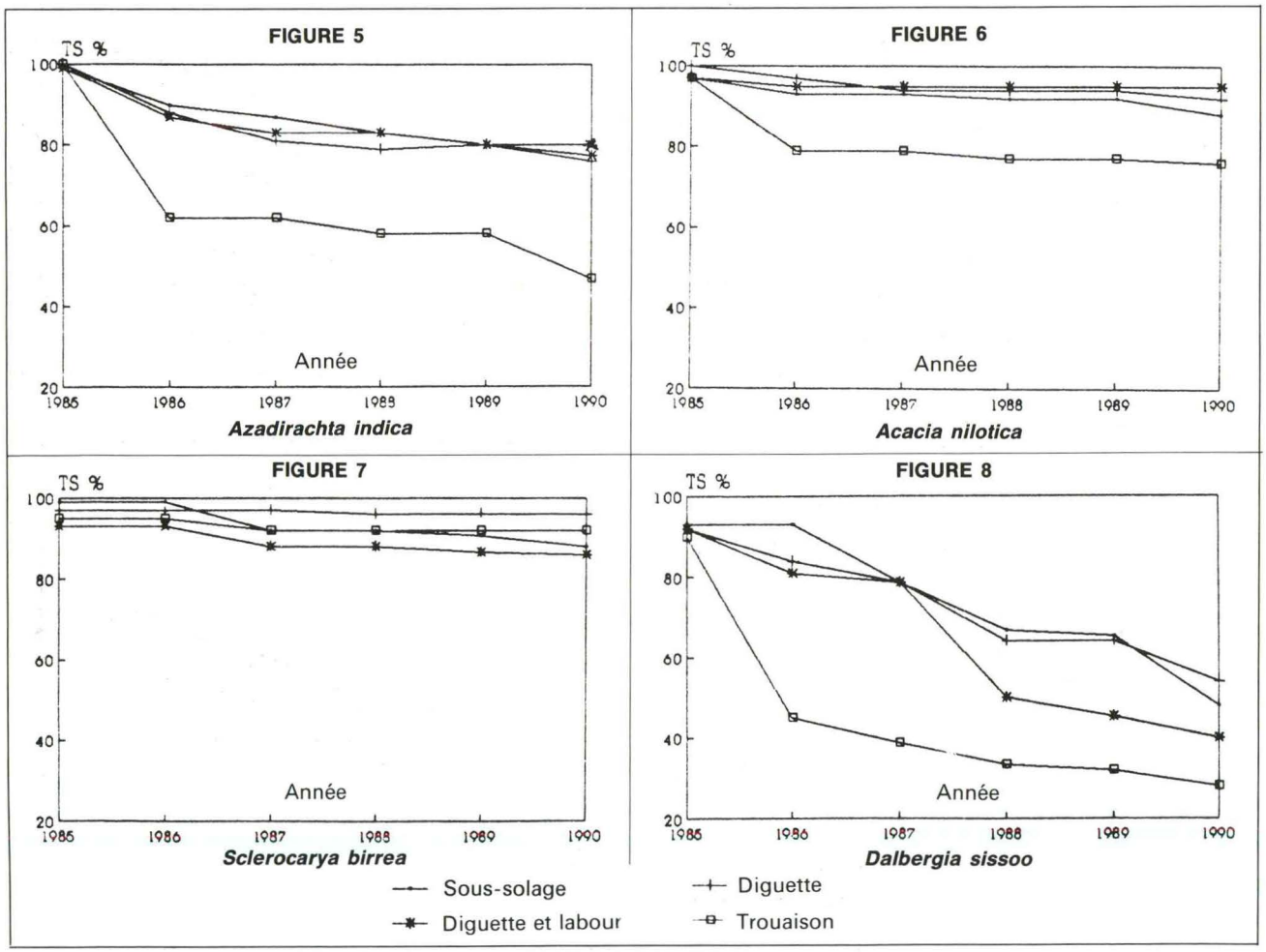
Cette espèce exotique réagit bien aux traitements. Le taux de survie, en 1990 à cinq ans et demi, est de 70 % pour les différents travaux de sol et de 58 % pour les parcelles-témoins. En 1988, l'analyse des mensurations de hauteurs montre des différences significatives en faveur de l'aménagement en diguettes au détriment du sous-solage et de la simple trouaison. La production du neem planté sur diguettes est supérieure à 2 m^3/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 m^3/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.

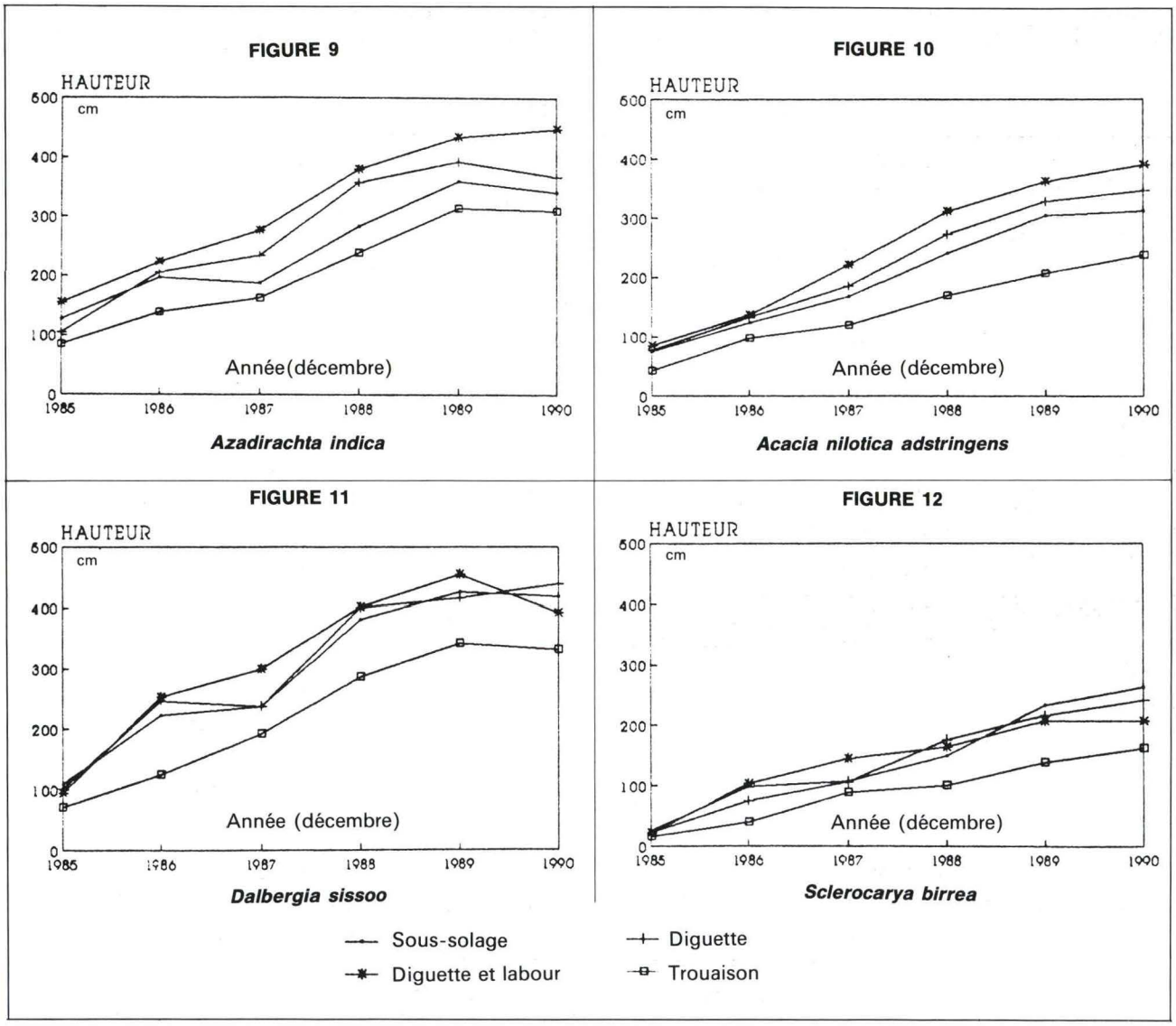
• ***Sclerocarya birrea***
Fig. 1, 3, 7 et 12

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)

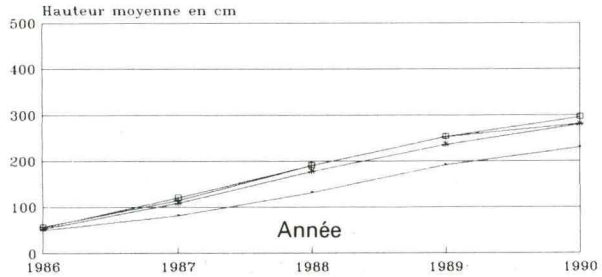
L'intérêt de cette espèce locale est de produire une gomme dure, utilisée dans les industries agro-alimentaires et pharmaceutiques ; son débouché à l'exportation lui confère un intérêt économique de premier plan. Sous réserve d'une production effective de gomme, *Acacia senegal* offre une perspective 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.

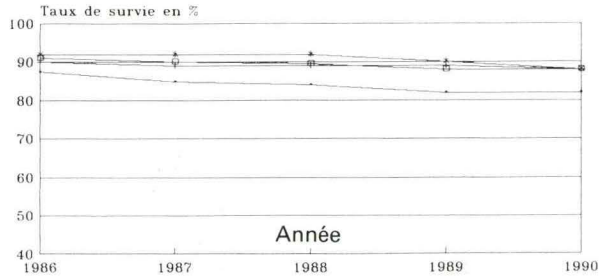
ACACIA SENEGAL-SALAK 86

FIGURE 13



Croissance d'*Acacia senegal* en fonction du travail du sol.

FIGURE 14



Taux de survie d'*Acacia senegal* en fonction du travail du sol.

—·— Témoin —I— Diguette —•— Anneau —□— Fosse

• **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	n°1	93%
de l'essai	n°2	93%
Partie Sud	n°3	80%
de l'essai	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				
		Témoin	Diguettes	Anneaux	Fosses	Moyenne
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 %.

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 comblent 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 mespiloformis, 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 × 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 m^3/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 camaldulen-*

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.

DELWAULLE (J.-C.), 1978-1979. — Plantations forestières en Afrique tropicale sèche, Techniques et espèces à utiliser. Bois et Forêts des Tropiques, n°s 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.

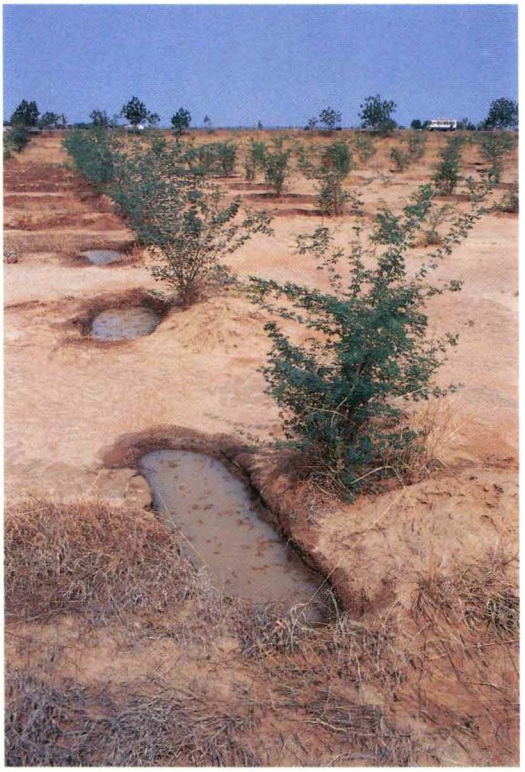
PELTIER (R.) et EYOG MATIG (O.), 1988. — Les essais d'agroforesterie au Nord-Cameroun. Bois et Forêts des Tropiques, n° 217, pp. 3-31

VAILLE (J.), 1970. — Essais de mise en valeur des sols Hardé du Nord-Cameroun. Agronomie tropicale, vol XXV, n° 5, 473 p.

MODIFICATION DU RÉGIME HYDRIQUE D'UN SOL PAR LES AMÉNAGEMENTS DE SURFACE

Le cas du sol Hardé de Salak

par Oscar EYOG MATIG, pédologue et écophysiologiste IRA



Cette fosse permet le stockage et l'infiltration de l'eau de pluie dans un volume limité de sol.

RÉSUMÉ

Sur le Hardé de Salak ont été testées quatre techniques d'aménagement pour mettre en place un boisement.

Les quatre traitements étaient les suivants :

- Planter les arbres sans autre travail du sol qu'une simple trouaison ;
- Sous-soler au bulldozer ;
- Lever un réseau de diguettes reliant les trous de plantation ;
- Appliquer le même traitement, complété par un labour manuel du casier délimité par les diguettes.

Sur cet essai il a été réalisé des études sur la structure et la texture du sol, ainsi qu'un suivi pluriannuel de l'humidité du sol, sur une profondeur de 1,70 m, à l'aide de tubes et d'une sonde à neutrons. Ces dernières mesures ont permis de tracer des profils hydriques en fonction des aménagements de surface et de la période de l'année, de calculer les réserves hydriques du sol sur le profil, d'apprécier le régime hydrique des traitements et d'estimer la rentabilité de l'eau utilisée pour la croissance des ligneux. En l'absence d'autre travail du sol que la simple trouaison, on a constaté que le profil se recharge très peu en eau au cours de la saison des pluies. L'effet du sous-solage disparaît rapidement avec le temps. Les diguettes permettent un important stockage d'eau dans le sol, jusqu'au-delà de 1,7 m de profondeur. Cette réserve reste supérieure à celle du témoin tout au long de la saison sèche. Le labour qui élimine le tapis herbacé a un effet plutôt négatif sur le bilan hydrique.

ABSTRACT

Four soil preparation techniques were tested on the Hardé soils of Salak with a view to establishing a forest plantation.

These techniques were :

- Simple digging of holes to receive the tree seedlings (without any other soil preparation) ;
- Bulldozer ploughing ;
- Construction of a network of small dykes to link the holes into which trees are planted, and lastly :
- Dykes similar to those in treatment n° 3 coupled with manual ploughing.

Soil structure and texture were studied on this trial and there was a study of soil humidity up to the depth of 1.70 m using tubes and a gamma neutron probe. These latter measurements were used to trace water profiles as a function of soil preparation technique and time of the year ; to calculate soil water reserves on the profile ; to appreciate the water regime of the treatments ; to estimate benefits of the water used for the growth of woody plants. From the study, it was noted that the soil profile's water recharge was very little throughout the rainy season in the treatment where hole digging was not associated with any other soil preparation technique. It was also noted that the effects of bulldozer ploughing very quickly disappeared with time. The technique of using dykes to retain water made it possible for an important quantity of water to be stored in the soil, up to and above the depth of 1.70 m. This water reserve was well above that of the control experiment throughout the dry season. Ploughing, which eliminates the herbaceous cover had a rather negative effect on the soil water balance.

La parcelle forestière de Maroua-Salak n'est pas, en fait, la première tentative de récupération des sols stériles, encore appelés Hardé par la recherche agronomique ; l'IRAT (devenu, le 1er juillet 1992 : CIRAD-CA) avait déjà mené des travaux à peu près similaires dans les années 70 (GUIS, 1976) ; il s'agissait essentiellement de la mise en culture des sols Hardé après sous-solage au bulldozer. Les résultats obtenus furent peu concluants ; en effet, le sol se recolmatait après deux campagnes avec une diminution conséquente des rendements des cultures.

En 1980, les cultures furent remplacées par une plantation forestière. On voulait déterminer si l'enracinement des arbres pouvait poursuivre l'action amélioratrice de la structure du sol, commencée par le sous-solage. Une fois encore, la production des différentes provenances d'*Eucalyptus camaldulensis* fut décevante (1 m^3/ha/an, six ans après la plantation).

En 1983, en plus du sous-solage au bulldozer, d'autres techniques de préparation du sol s'ajoutèrent : la profondeur du sous-solage passa de 45 cm à 80 cm ; on procéda également au labour à la charrue ; des espèces autres que l'*Eucalyptus camaldulensis* furent essayées (*Khaya senegalensis, Dalbergia sissoo, Azadirachta indica, Leucaena leucocephala*, etc.). Actuellement, seul *Khaya senegalensis* résiste encore ; la plupart des espèces mises en place souffrent de stress hydrique.

En 1985, d'autres types de préparation de sol furent testés, en plus du sous-solage, notamment une méthode traditionnellement utilisée dans la culture du Muskwari (sorgho de décrue) pour retenir le maximum d'eau : celle des diguettes. Plusieurs espèce d'arbres choisies parmi les plus résistantes à la sécheresse furent plantées.

Ce sont les résultats de cette parcelle qui, après trois années d'observations, font l'objet de cet article.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

■ Matériel végétal

La plantation a été mise en place en juillet 1985. Les plants ont été transplantés après quatre mois de séjour en pépinière. Les quatre espèces utilisées sont les suivantes : *Azadirachta indica, Acacia nilotica, Dalbergia sissoo* et *Sclerocarya birrea*

■ Les sols de la parcelle

Une étude prélable a consisté à délimiter la parcelle et à vérifier de façon sommaire l'homogénéité du sol. Après piquetage, des sondages à la tarière ont été réalisés au centre de chaque placeau. A l'issue de ce travail, on a pu dénombrer en fonction de la texture et de la structure de l'horizon sondé (40 cm de profondeur) trois types de sol:

- **Les 3/4 de la parcelle** sont constitués d'un sol à horizon superficiel dépourvu de végétation, recouvert d'une pellicule noire d'algue. L'horizon sous-jacent à cette pellicule est de texture sableuse, devenant plus argileuse vers les 40 cm de profondeur. L'ouverture d'une fosse nous permet d'observer une zone de transition (zone pulvérulente constituée de sable fin de couleur blanche (lessivage) entre l'horizon sableux et l'horizon argileux.

Au-delà de 40 cm, on a un horizon compact argilo-sableux ; cet horizon de 40 à 50 cm de profondeur contraste très nettement avec l'horizon superficiel (à cause de son aspect massif, de ses nodules ferromanganésifères et de sa texture plus sableuse).

Au-delà des 80 cm, il n'y a pas de changement de structure ; c'est la taille des nodules qui varie en augmentant.

La zone d'altération de la roche-mère commence à 140 cm de profondeur.

- **Une deuxième catégorie de sol** a été identifiée : il s'agit en fait du même substrat que précédemment mais recouvert d'une dunette de sable, très certainement d'origine éolienne ; cette auréole de sable se forme très souvent tout autour d'un arbuste (*Guiera senegalensis*).

L'horizon superficiel (les 18 premiers centimètres) est donc constitué de sable plus ou moins fixé ; ce sable se retrouve dans les zones plus profondes à la faveur de la poussée racinaire.

La profondeur du sol ameublie varie en fonction de la profondeur de la prospection racinaire ; dans notre cas, cette profondeur est de 50 cm et la zone de transition (une étroite bande de 2 cm d'épaisseur) commence à 50 cm de profondeur.

- **La dernière catégorie** est constituée par les zones de topographie basse avec stagnation d'eau; le sol prend ici l'aspect vertique (fentes de retrait, texture plus argileuse avec uniformité dans la répartition de l'argile le long du profil). Cette catégorie occupe une proportion faible de la parcelle.

■ Le travail du sol

Quatre techniques de préparation de sol ont été utilisées : il s'agit du sous-solage (SA**S**), des diguettes (SA**D**), des diguettes avec labour (SA**L**) et du témoin qui est la simple trouaison (SA**T**).

- **Sous-solage** : il s'agit d'un sous-solage croisé au bulldozer de type IH TD20; l'engin est muni d'un ripper à trois dents longues et espacées entre elles de 60 cm, la profondeur moyenne de sous-solage a été estimée à 45 cm.
- **Les diguettes** : il s'agit de petits barrages de 15 cm de hauteur, délimitant un carré de 16 m^2 dont les quatre angles ont subi une trouaison de 40 x 40 x 40 cm. C'est au niveau de ces trous qu'il y a plantation d'arbres.
- **Les diguettes avec labour** : le traitement est identique au précédent, mais il y a grattage à la houe (daba) de l'intérieur du carré.
- **Le témoin** : il s'agit ici d'une simple trouaison de 40 × 40 × 40 cm.

Le dispositif est un carré latin avec quatre blocs et quatre traitements ; chaque placeau élémentaire est subdivisé en quatre sous-placeaux, ayant chacun l'une des espèces végétales testées (pour plus de précision, on consultera le plan de l'essai 85-01, dans l'article de J.-M. HARMAND).

■ Mise en place des tubes et étalonnage de la sonde à neutron

- **Les tubes** : ils sont placés au milieu du placeau. Deux tubes supplémentaires ont été mis à des endroits non plantés d'arbres afin de vérifier l'influence de ces derniers sur les réserves hydriques du sol. Nous avons donc un total de 18 tubes sur l'essai.
- **Mise en place et étalonnage** : une tarière de 42 mm de diamètre a été utilisée pour forer un trou de 200 cm de profondeur. Les différents horizons du sol sortis ont été conservés séparément, de manière à être réintroduits en ordre autour du tube, une fois celui-ci mis en place. Une partie de la terre des différents horizons est conservée pour mesurer l'humidité pondérale qui servira à l'étalonnage de la sonde.

  Afin de transformer l'humidité pondérale en humidité volumique, nous avons mesuré la densité apparente de chacun des horizons du sol.

- **La densité apparente** : nous avons comparé les mesure obtenues à la sonde gamma densimétrique à celles des cylindres. Les densités obtenues à Salak au densitomètre à membrane (GUIS, 1976) nous servent de référence (cf. tableau I, p. 103).

La méthode des cylindres donne des volumes plus faibles (variant entre 1,58 à 1,66) pour les horizons superficiels, tandis que ses valeurs rejoignent celles de la sonde (valeurs supérieures à 1,70) à partir de l'horizon compact du sol (50 cm de profondeur).

Quant aux valeurs référentielles, elles sont encore plus faibles en surface (1,40 pour les 20 premiers centimètres), puis elles rejoignent celles de la méthode des cylindres (1,60 entre 20 et 40 cm de profondeur, puis 1,80 au-delà de 40 cm de profondeur).

On constate donc que les trois méthodes présentent des valeurs identiques à partir de 50 cm de profondeur.

TABLEAU I

Résultats de densités apparentes selon trois méthodes de mesures

Méthodes utilisées	Densité apparente Méthode des cylindres	Densité apparente Méthode du densitomètre à membrane	Densité apparente Méthode sonde gamma densitométrique avec étalonnage
Sol	Hardé nu	Hardé nu	Hardé nu
Profondeur (cm)			
0-10	1,58	1,40	1,76
10-20	1,58	1,40	1,62
20-20	1,66	1,60	1,72
30-40	1,60	1,60	1,79
40-50	1,79	1,80	1,77
50-60	1,79	1,80	1,78
60-70	1,79	1,80	1,76
70-80	1,79	1,80	1,84
80-90	1,78	1,80	1,87
90-100	1,88	1,80	1,90
100-110	1,88	1,80	1,85
110-120	1,88	1,80	1,85
120-130	1,88	1,80	1,90
130-140	1,88	—	1,90
140-150	1,88	—	1,92
150-160	1,88	—	1,92
160-170	1,88	—	1,92
170-180	1,88	—	—

■ Les mesures des réserves hydriques du sol

La périodicité des campagnes de mesure est décadaire pendant la saison des pluies et mensuelle en saison sèche. Au niveau du tube, les mesures sont faites tous les 10 cm et la profondeur maximale explorée est de 170 cm.

RÉSULTATS

VARIATIONS SAISONNIÈRES DES PROFILS HYDRIQUES

■ Évolution au cours de la saison des pluies 86

Fig. 1, p. 104

• Avril 86

En cette fin de saison sèche, l'humidité est comparable sur les différents profils, bien qu'elle soit légèrement plus élevée sur le traitement « diguette + labour », où un stock d'eau important accumulé en saison des pluies 85 n'a pas encore disparu totalement.

• Juin 86

Les premières pluies de l'année viennent de tomber. Sur le témoin « simple trouaison », seuls les vingt premiers centimètres ont pu se recharger.

Sur les autres traitements, l'humidité a déjà augmenté jusqu'à 60 cm, particulièrement sur le traitement « diguettes ».

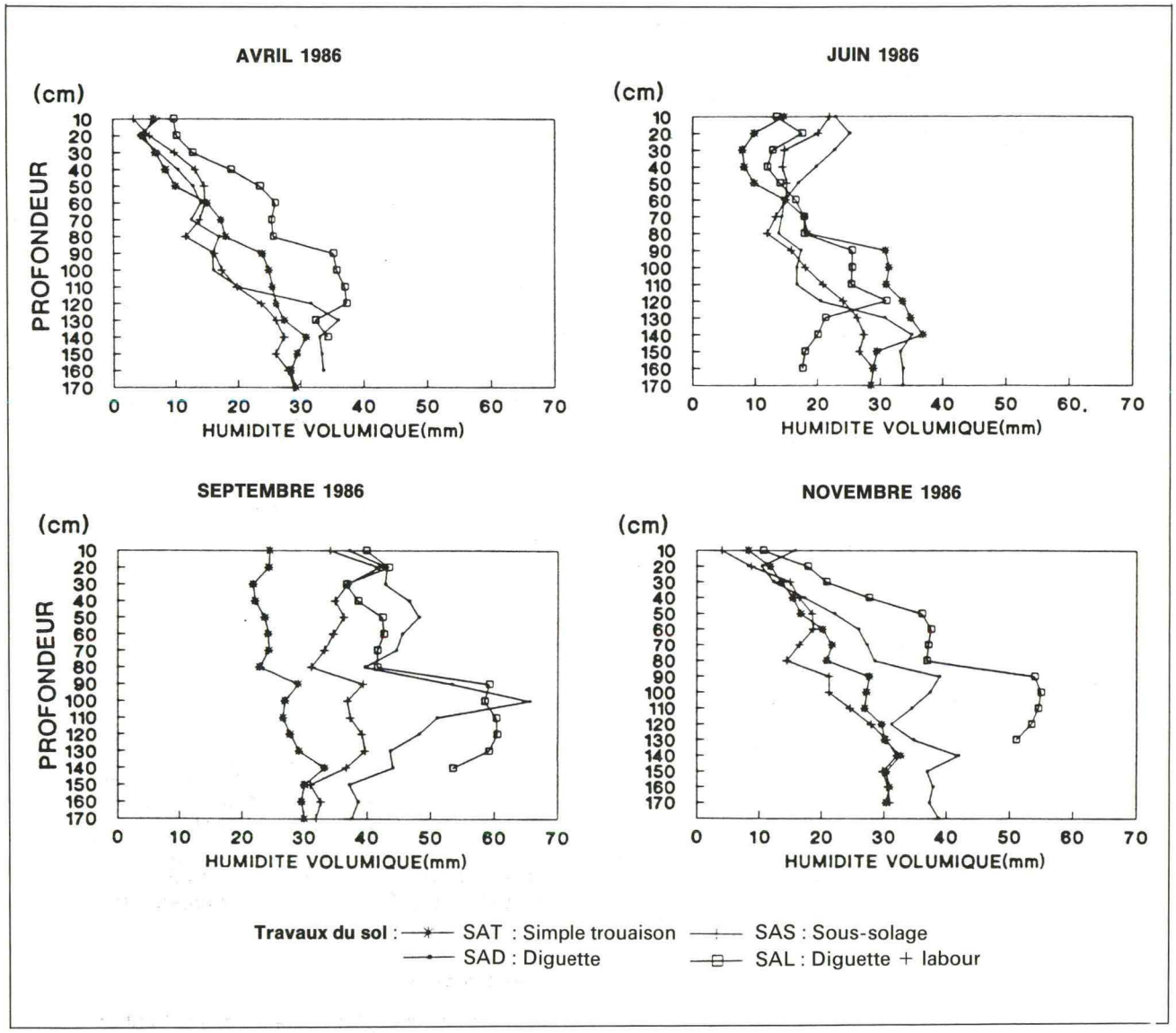
• Septembre 86

Les dernières pluies de l'année tombent sur la parcelle. Le sol de tous les traitements a été rechargé en eau jusqu'à plus de 1,2 m de profondeur. La quantité stockée reste cependant très faible sur le témoin. Sur les autres traitements, l'humidité est comparable en surface mais, en dessous de 30 cm de profondeur, elle est supérieure sur les traitements avec diguettes (labourés ou non). Le profil n'est pas régulier et il existe une couche plus sèche à 80 cm de profondeur et une couche très humide entre 90 et 100 cm de profondeur.

• Novembre 86

Il ne pleut plus depuis deux mois et le vent sec dessèche les horizons superficiels de tous les sols.

FIGURE 1
Evolution des profils hydriques du planosol de Salak au cours de la saison des pluies 1986, pour 4 types de travaux du sol



Les traitements sans diguettes (trouaison et sous-solage) ont repris leur profil du mois d'avril.

Les traitements avec diguettes conservent des réserves d'eau jusqu'au-delà de 170 cm de profondeur, en particulier pour la parcelle labourée

■ Évolution au cours de la saison des pluies 87

Fig. 2, p. 105

• Avril 87

Les profils sont identiques à ceux d'avril 86.

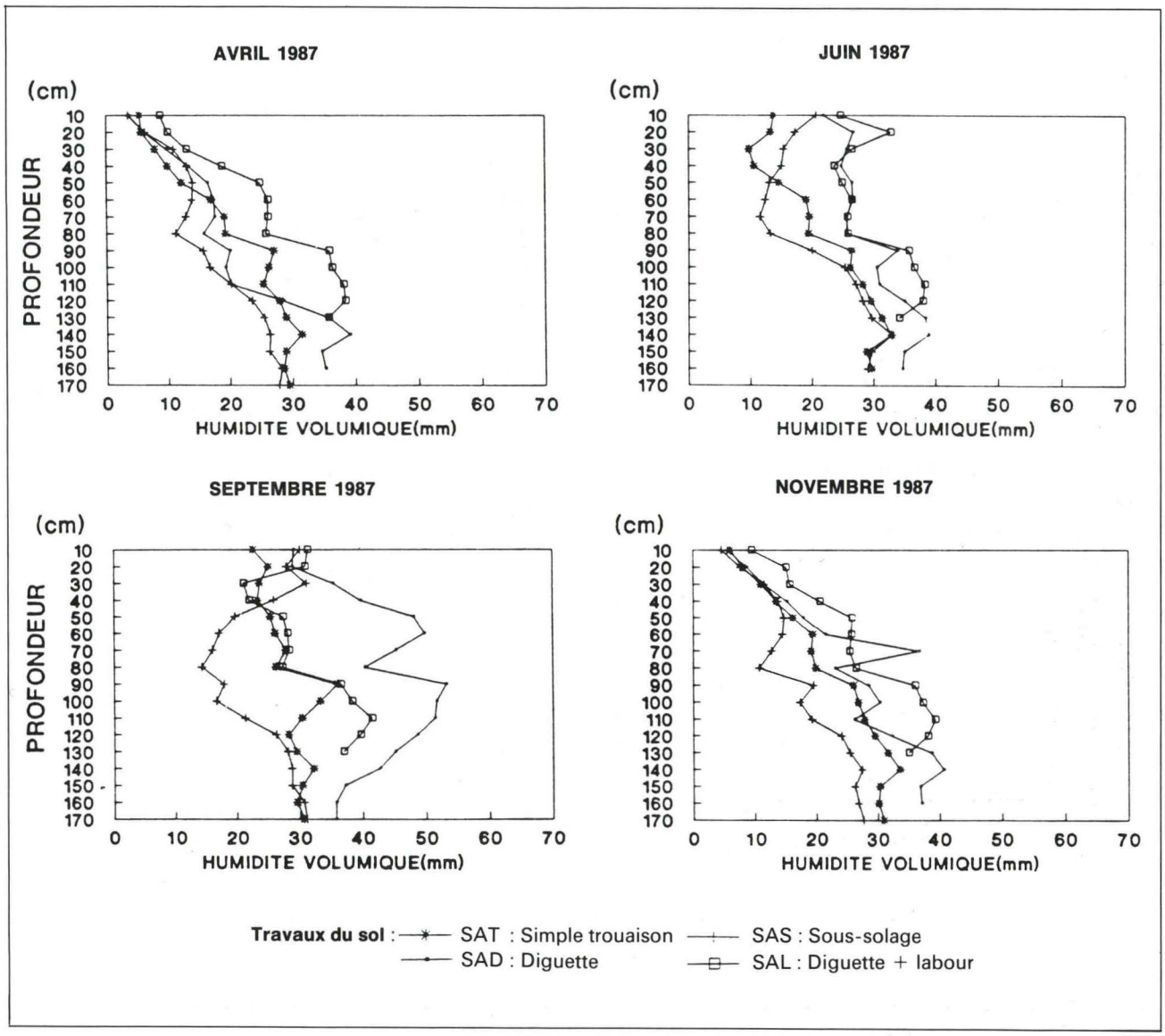
• Juin 87

En ce début de saison des pluies, on remarque, comme l'année précédente, un rechargement très faible et très superficiel sur le témoin « trouaison », à peine plus important sur le traitement « sous-solage » et très bon sur les parcelles aménagées à l'aide de diguettes. Celles-ci bénéficient, en outre, de leur reliquat de stock d'eau accumulé en 86 en profondeur.

• Septembre 87

A la fin de cette saison des pluies, il est étonnant de constater que, sur le traitement sous-solage, seuls les 40 premiers centimètres sont mieux rechargés que le

FIGURE 2
Evolution des profils hydriques du planosol de Salak, au cours de la saison des pluies 1987, pour 4 types de travaux du sol



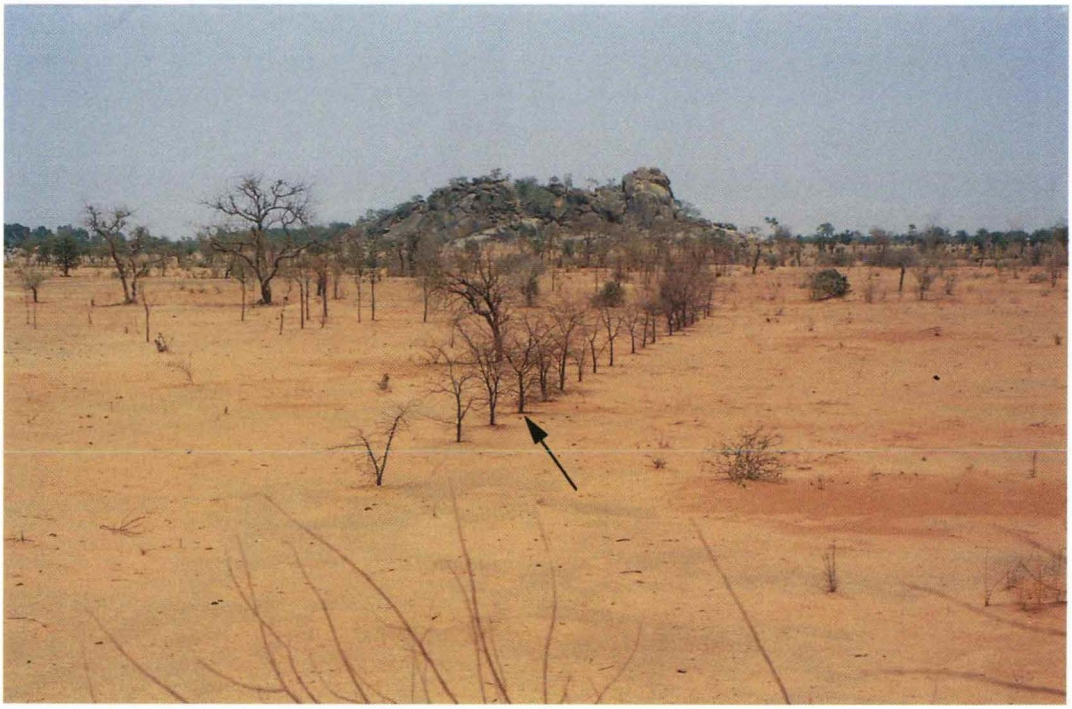
témoin. Il est possible que le passage des dents de riper ait créé une »semelle de labour » à ce niveau, qui nuise à l'alimentation des couches profonde (simple hypothèse non vérifiée).

Le traitement « diguette » est devenu bien meilleur que le traitement « diguette + labour » (SAL) et assure un très fort chargement du sol en eau jusqu'à plus de 1,5 m de profondeur. Il faut remarquer que, sur le traitement SAL, le labour n'a, en fait, été réalisé qu'en 85 et 86. Celui-ci, très superficiel, n'a pas modifié la texture du sol durablement ; cependant, il a retardé fortement l'installation du tapis herbacé. Or, la couverture végétale favorise l'infiltration de l'eau et permet le développement d'une macrofaune du sol qui améliore la porosité du sol. Ceci explique, sans doute, la supériorité du traitement « diguette sans labour » sur tous les autres traitements.

- **Novembre 87**

Le dessèchement des profils en profondeur est plus rapide qu'en 86. Ceci peut en partie s'expliquer par le développement des arbres qui « pompent » l'eau des horizons profonds jusqu'au début de la saison sèche.

Sur sol Hardé, les plantations sans dispositif d'économie de l'eau sont souvent vouées à l'échec.



A Haissa-Hardé, dans les essais du CRF, les espèces exotiques (neem, eucalyptus, dalbergia,...) plantées sans dispositif d'économie de l'eau, sur un sol Hardé, ont disparu. Seule une espèce locale (*Acacia nilotica*), qui constituait la clôture de l'essai, a survécu (flèche).

A Mora, dans un boisement communautaire, il ne reste que les espèces locales préexistantes. Les petits carrés d'herbe (flèches) se sont développés sur les trous de plantation qui constituent le seul dispositif d'économie de l'eau.

A Maroua-Salak, emplacement d'un trou de plantation de 40 × 40 × 40 cm, quelques années après son rebouchage et mise en place d'un jeune plant d'arbre qui est mort. Le travail de trouaison/rebouchage a mélangé les horizons et a rendu le sol plus perméable. Ceci a permis la croissance de cette touffe de graminées.

VARIATIONS DES RÉSERVES HYDRIQUES DU SOL

■ Évolutions interannuelles des réserves hydriques

L'évolution des réserves hydriques d'une année à l'autre, pour les différents traitements, ne pouvait être étudiée qu'en prenant des périodes de pluviométrie cumulée comparables. Nous nous sommes donc fixés comme référence une hauteur de pluie de 300 mm.

Cette hauteur d'eau a été atteinte :

- le 12 juillet 1985 (pluviométrie cumulée égale à 343 mm)
- le 16 juillet 1986 (pluviométrie cumulée égale à 302 mm)
- le 10 août 1987 (pluviométrie cumulée égale à 315 mm).

L'interprétation du tableau II montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les traitements quand on considère l'ensemble du profil. La ségrégation apparaît dans le classement lorsqu'on prend en compte uniquement les 60 premiers centimètre qui représentent la partie du profil la plus facilement humectable ; SAD semble être le meilleur traitement mais il n'y a pas de différence significative avec les traitements SAS et SAL ; SAT présente les réserves les plus faibles.

TABLEAU II

Réserves hydriques moyennes du sol le 12.07.85

Paramètres / Travail du sol	HV total (mm)	Classement HV total	HV 60 (mm)	Classement HV 60
SAD	540	A	191	A
SAS	464	A	174	A
SAL	431	A	149	A B
SAT	357	A	100	B

- HV total (mm) : humidité volumique en mm sur tout le profil (170 cm).
- HV 60 (mm) : humidité volumique en mm sur les 60 premiers centimètres.
- A, B, C = classement de l'efficacité du traitement par ordre décroissant.
- Les valeurs HV sont ici la moyenne des quatre répétitions.

TABLEAU III

Réserves hydriques moyennes du sol le 16.07.86

Paramètres / Travail du sol	HV total (mm)	Classement HV total	HV 60 (mm)	Classement HV 60
SAD	517	A	181	A
SAS	427	A	146	B
SAL	402	A	122	B
SAT	333	A	87	C

Le tableau III montre qu'à la deuxième saison des pluies, on constate une domination significative de SAD sur les autres types de travail du sol et en particulier sur le sous-solage. Comme en 1985, cette domination n'est significative que dans les 60 premiers centimètres.

On constate, par ailleurs, que la capacité de stockage d'eau a régressé pour le sous-solage (SAS).

TABLEAU IV

Réserves hydriques moyennes du sol le 10.08.87

Paramètres / Travail du sol	HV total (mm)	Classement HV total	HV 60 (mm)	Classement HV 60
SAD	533	A	170	A
SAL	386	B	99	B
SAT	341	B	94	B
SAS	331	B	90	B

La tableau IV permet de constater que le traitement SAD continue à être le meilleur de façon significative en troisième saison des pluies. SAS régresse et ce traitement est relégué au dernier rang ; il n'y a plus de différence significative entre SAL, SAS et SAT.

■ Présentation synthétique des résultats

Nous donnerons ici, dans un premier temps, l'appréciation globale du régime hydrique des différents traitements ; nous aborderons, ensuite, les résultats du calcul sommaire d'ETR et de ses variations, non seulement interannuelles mais également intertraitements.

Le tableau V, p. 108, confirme les observations faites sur les profils hydriques, c'est-à-dire une amélioration progressive des réserves hydriques pour les traitements SAD, SAL et SAT et l'évolution en sens inverse pour SAS.

TABLEAU V

Appréciation globale du régime hydrique des différents traitements

ANNÉE	Traitement	Précipitations	Réserves hydriques des 170 cm du sol en fin de saison des pluies (mm)	So = stock d'eau du sol en fin de saison sèche (mm)	Durée (mois où les réserves du sol sont ≤ So)	Profondeur maximale humectée (cm)
1985	SAD	676,7	603			150
	SAL	676,7	445			80
	SAS	676,7	490			100
	SAT	676,7	351			40
1986	SAD	597,7	547	395	2	170
	SAL	597,7	511	311	2	170
	SAS	597,7	491	327	2	170
	SAT	597,7	389	307	4	90
1987	SAD	603,8	530	428	2	150
	SAL	603,8	477	324	2	120
	SAS	603,8	409	300	3	80
	SAT	603,8	386	308	4	90

La durée pendant laquelle le stock est au niveau le plus bas est de deux mois pour SAD et SAL, de quatre mois pour SAT ; elle évolue au cours des années en se rallongeant pour SAS.

Quant à la profondeur maximale humectée pendant la saison pluvieuse, elle est supérieure ou égale à 150 cm pour les trois années étudiées. Cette évolution est irrégulière selon les années pour SAL et SAS, avec une tendance pour SAS à un retour, en 1987, au « goulot d'étranglement » à 80 cm de profondeur. Quant à SAT, la profondeur passe de 40 cm à 90 cm.

Le tableau VI montre une rentabilité presque constante et faible (0,8) pour SAT, variable pour SAD et SAL (elle est en effet de 1,8 et 1,5 en 1985, puis de 2,3 et 3,6 en 1986 pour retomber à presque 1 en 1987). Quant au traitement SAS, la rentabilité de l'eau s'est maintenue à 1,6 et 1,9 mm de croissance en hauteur pour 1 mm d'eau utilisée en 1985 et 1986, pour plonger à 0,3 en 1987.

TABLEAU VI

Étude sommaire de la rentabilité de l'eau utilisée

ANNÉE	Traitement	Précipitations P (mm)	DS = variations du stock d'eau avant et après la saison des pluies (mm)	ETR = P — (DS) (mm)	DHt = Accroissement de la hauteur des arbres après la saison des pluies (mm)	$R = \frac{DHt}{ETR}$ mm/mm d'eau
1985	SAD	676,7	+ 153,08	524	760	1,8
	SAL	676,7	+ 107,09	570	890	1,5
	SAS	676,7	+ 142,36	535	840	1,6
	SAT	676,7	+ 52,36	624	530	0,8
1986	SAD	597,7	+ 230,26	367	840	2,3
	SAL	597,7	+ 357,53	240	860	3,6
	SAS	597,7	+ 235,74	362	700	1,9
	SAT	597,7	+ 218,21	379	380	1,0
1987	SAD	603,8	+ 119,74	484	350	0,7
	SAL	603,8	+ 119,30	485	620	1,3
	SAS	603,8	+ 19,41	584	210	0,3
	SAT	603,8	+ 51,57	552	510	0,9

R = efficacité de l'utilisation de l'eau de pluie (cela correspond à la croissance en hauteur par rapport à 1 mm d'eau consommé).

COMMENTAIRES ET DISCUSSIONS DES RÉSULTATS

■ La densité apparente

Les résultats obtenus présentent une certaine hétérogénéité dans les 50 premiers centimètres du sol ; au-delà de cette profondeur, les trois techniques sont concordantes.

La sous-estimation de la densité apparente par la méthode des cylindres pourrait être due à la sous-estimation du volume de sol prélevé. En effet, l'horizon de 0 à 40 cm est de texture sableuse ; son prélèvement est rendu difficile à cause de sa friabilité, surtout en saison sèche.

■ Variations interannuelles Les profils hydriques

- **En 1985** : durant cette année, on constate que l'humectation progressive se fait de la manière suivante :

. d'abord les 40 premiers centimètres,
. ensuite les 40 autres centimètres,
. les 30 à 40 cm suivants,
. et, enfin, l'ensemble du profil,

ce qui peut s'expliquer par la texture et la structure des horizons. Lorsque l'eau de pluie réussit à traverser la pellicule noire battante, elle humecte la couche de 40 cm d'épaisseur située en dessous et constituée de sable friable et poreux. Lorsque cette couche est saturée, l'excès d'eau ruisselle s'il n'y a pas de dispositif (c'est le cas de SAT) pouvant obliger l'eau à s'infiltrer. En cas de sous-solage, on augmente l'épaisseur du sol pouvant stocker de l'eau ; celle-ci dépasse la profondeur maximale du sous-solage (entre 45 et 60 cm).

Quant aux diguettes, qui constituent des mini-barrages le plus souvent saturés pendant toute la saison pluvieuse, elles obligent l'eau à s'infiltrer dans les couches les plus profondes.

Au début de saison sèche (novembre), une baisse rapide des réserves hydriques est constatée sur les quatre traitements ; ce mouvement touche l'ensemble de leur profil. Le profil du traitement SAS se confond avec celui du SAT (surtout au-delà des 80 cm de profondeur) ; SAD et SAL conservent encore quelques réserves. Le sous-solage, en aérant davantage le sol, rend ce dernier plus sensible à l'évaporation ; il permet, par ailleurs, une consommation plus élevée d'eau (par transpiration). Les arbres se retrouvent dans un milieu moins asphyxique.

En saison sèche, le dessèchement des profils continue à affecter les horizons superficiels qui conservaient encore quelques réserves.

- **En 1986** : amélioration du traitement SAT ; cette amélioration s'explique par le voisinage des autres traitements et par la protection de la parcelle :

Le voisinage des autres traitements : pour avoir un « bon témoin », il aurait fallu l'isoler des trois autres traitements. En effet, le voisinage des diguettes ou du sous-solage crée forcément un blocage d'eau (non souhaité) au profit du témoin ; cette eau bloquée finit par s'infiltrer. Par ailleurs, le tapis herbacé, qui se constitue dans les placeaux SAD, SAL et SAS, progresse par plages successives vers le traitement-témoin.

Protection de la parcelle : l'ensemble de la parcelle est protégé contre le bétail et contre le feu ; le tapis herbacé reconstitué pendant la saison des pluies est maintenu et sert de « mulch » à la prochaine saison des pluies.

- **En 1987** : perte relative d'efficacité du sous-solage. Il faut signaler qu'on parle de perte d'efficacité du sous-solage surtout par rapport à la trouaison. Trois facteurs semblent se conjuguer : l'ETR, la topographie, la battance :

. L'ETR : nous avons vu que l'évaporation et la transpiration sont élevées pour le traitement SAS : 535 mm en 1985, 362 en 1986 et 584 (le plus élevé) en 1987.

. La topographie : après le sous-solage, nous avons expressément évité de casser les mottes laissées par le bulldozer, afin de rendre le terrain plus rugueux et « casser » ainsi le ruissellement. Ces mottes, malgré les différentes saisons pluvieuses, n'ont pas été détruites par l'humectation. Elles ont été quelque peu érodées ; une espèce de « carapace » s'est formée protégeant le centre de la motte de l'hydratation ; la couche périphérique enlevée a servi à colmater les fissures entre les mottes. C'est ainsi que les placeaux précédemment sous-solés représentent aujourd'hui des parties exondées par rapport aux autres traitements. Les espaces entre les mottes, qui autrefois servaient de points d'infiltration de l'eau, sont fermés par le ciment issu de l'érosion de ces mêmes mottes. Il s'ensuit qu'une grande partie de l'eau ruisselle vers les placeaux voisins.

. La battance : contrairement aux autres traitements, la couche de battance se reforme très rapidement sur les placeaux sous-solés ; ce phénomène s'observe également sur les plages de sol (SAT) non encore enherbées ; en revanche, la présence du tapis her-

bacé (SAD et SAL) semble s'opposer à la reconstitution de la couche de battance.

CONCLUSION

L'étude du régime hydrique de Salak nous a permis de faire le constat suivant :

- Sans travail du sol, seuls les 40 premiers centimètres sont humectés pendant la saison des pluies ; le reste d'eau ruisselle.
- Le sous-solage permet un meilleur stockage de l'eau en saison des pluies; le sol se dessèche cependant assez rapidement (ETR élevée).
- L'effet « conservateur d'eau du sous-solage » diminue assez rapidement dans le temps. Les réserves hydriques deviennent même inférieures à celles de la simple trouaison, dès la troisième saison de pluies.
- Les diguettes représentent le type de préparation de sol, couramment utilisé par les populations, le plus conservateur d'eau. L'infiltration dépasse ici l'horizon « induré » B. Le profil se dessèche plus lentement ; il est même inutile de procéder à un grattage superficiel qui présente l'inconvénient d'éliminer la végétation herbacée.

L'effet « voisinage » se manifeste ici par l'amélioration des conditions d'économie de l'eau de la simple trouaison. Ce traitement profite, en effet, du blocage de l'eau des traitements voisins qui constituent un barrage tout autour de SAT. Ses réserves hydriques augmentent ; la couverture herbacée apparaît et joue le rôle de « mulch ». ■

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

EYOG MATIG (O.), 1984. — Trois années d'études du bilan hydrique sur les parcelles de Djarengol et Laf. IRA -CRF, Antenne de Maroua.

FLORET (C.) et PONTANIER (R.), 1982. — L'aridité en Tunisie présaharienne. Travaux et Documents de l'ORSTOM n° 150, Paris, 544 p.

GUIS (R)., 1976. — Un bilan des travaux visant à la mise en culture des sols Hardé du Nord-Cameroun. Agro. Trop. 31 (2).

PELTIER (R.), 1988. — Résultats des essais sylvicoles des stations de l'Antenne du Centre de Recherches Forestières. Mesures 1987-1988. IRA-CRF, Antenne de Maroua.

VAILLE (J.), 1970. — Essais de mise en valeur des sols Hardé du Nord-Cameroun. Agro. Trop. 25 (5).

Oscar EYOG MATIG
Institut de la Recherche Agronomique
BP 415
Garoua (Cameroun)

L'ENRACINEMENT DE QUATRE ESPECES LIGNEUSES SUR SOL HARDÉ

Influence des techniques de plantation et d'économie de l'eau

par Oscar EYOG MATIG, pédologue et écophysiologiste IRA

Sur ce sol latéritique,les racines de *Faidherbia albida* ne peuvent plonger vers les horizons profonds qu'à la faveur de discontinuité dans la cuirasse. Un phénomène comparable peut être observé sur sol Hardé pour différentes espèces.

RÉSUMÉ

Une étude d'enracinement de quatre espèces d'arbres locales et exotiques, plantées avec différentes techniques de préparation du sol, a été menée sur le sol Hardé du village de Salak.

On a retenu les arbres dont la hauteur est proche de la moyenne de la parcelle, à raison d'un arbre par type de travail du sol.

On utilise une grille ayant un cadre métallique de 2 × 1,5 m sur lequel sont fixés des fils de nylon, qui détermineront des mailles carrées de 5 cm de côté. Après avoir ouvert une tranchée à 1 m du collet de l'arbre, on plaque la grille contre la paroi de celle-ci et on note les coordonnées x et y de chaque racine, ainsi que sa classe de diamètre (1 : inférieur à 1 mm ; 2 : de 1 à 10 mm ; 3 : de 10 à 20 mm ; 4 supérieur à 20 mm). Cette opération est recommencée à 20 cm de l'arbre, puis au pied de celui-ci, après avoir recreusé la tranchée. Un programme informatique permet de visualiser la représentation spatiale des racines et leur classe de diamètre.

Les observations suivantes ont été faites par espèce et par type de travail du sol :

- ***Dalbergia sissoo***

Sur le témoin sans autre travail du sol que le trou de plantation, les racines se développent surtout dans celui-ci. Le sous-solage augmente la biomasse racinaire qui reste cependant surtout concentrée dans les raies travaillées. Les diguettes, qui assurent l'infiltration de l'eau de pluie, permettent une très forte augmentation du nombre et de la taille des racines jusqu'à environ 50 cm de profondeur. Les horizons profonds restent peu prospectés. Il s'agit clairement d'une espèce non adaptée à ce type de sol induré et mal alimenté en eau, qui ne peut y développer son système racinaire que dans les volumes où le sol a été ameubli, grâce aux travaux d'économie de l'eau.

- ***Azadirachta indica***

Cette autre espèce exotique est un petit mieux adaptée à ce type de sol. Sur le témoin, on constate un enracinement légèrement mieux réparti dans les horizons profonds. Les dispositifs d'économie de l'eau lui permettent de développer fortement sa biomasse racinaire. Une partie des racines se concentre en haut de l'horizon induré, qui constitue une zone d'accumulation d'eau recherchée par les racines ; celles-ci, apparemment, ne craignent pas l'hydromorphie.

- ***Acacia nilotica adstringens* et *Sclerocarya birrea***

Ces deux espèces locales sont beaucoup mieux adaptées à ce type de sol. Même sur le témoin, elles développent un enracinement puissant bien réparti dans le profil, jusqu'à 1,50 m de profondeur pour *Acacia nilotica*. Les dispositifs d'économie de l'eau améliorent la répartition et la taille des racines, mais ces espèces peuvent survivre et se développer sans eux.

ABSTRACT

A study on root system development of 4 woody exotic and local species which were planted using different soil preparation techniques was carried out on the Hardé soils of the Salak village.

For each soil preparation method, one tree was selected. This was the tree which had a height growth close to the average height of the trees on the plot in question.

A metallic frame grill of 2 × 1.5 m on which was fixed a nylon thread forming a mesh of 5 cm^2 each was used. This grill was placed against the wall of a trench which was dug at 1 m from the collar of the tree. The X and Y coordinates of each root as well as the diametre class were noted (1 : inferior to 1 mm ; 2 : from 1 to 10 mm ; 3 : from 10 to 20 mm ; 4 : > 20 mm). This operation was repeated at 20 cm from the tree stem and at the stem after redigging the trench. A computer programme was used to visualize the spatial distribution and diametre class of the roots.

The following observations are made based on species and soil preparation method :

- ***Dalbergia sissoo***

Root development in the control experiment, where the only soil preparation was the digging of holes in which trees were planted, was generally limited to each hole. Ploughing increased the biomass of roots but root development was generally concentrated within the ridges of the ploughed zones. Dykes which insure the infiltration of rain water caused a very high increase in the number and size of roots within a depth of up to about 50 cm. This species is certainly not adapted to this type of soil which is hard and poorly fed in water content, where root system development can only take place in parts where the soil has been softened and provided with microcatchment systems.

- ***Azadirachta indica***

This second exotic species is a bit better adapted to this type of soil. On the control experiment, root development was slightly better distributed in the deeper horizons than was the case with *Dalbergia sissoo*. The microcatchment systems made it possible for roots to greatly develop their biomass. A portion of the roots was concentrated above the hardened horizon which constitutes the water accumulation zone looked for by the roots.

- ***Acacia nilotica adstringens* and *Sclerocarya birrea***

These two local species are much better adapted to Hardé soils. Even in the control experiment, *Acacia nilotica*'s roots were highly developed and well distributed within the soil profile up to the depth of 1.50 m. The microcatchment systems improve the distribution and size of roots but these species can survive and develop without the devices.

L'étude sur l'enracinement, traitée ici, a pour objectif de déterminer le mode de colonisation des différents compartiments d'un sol Hardé par les racines des différentes espèces, en fonction des techniques de préparation du sol. Elle devrait permettre d'expliquer le développement variable observé de la partie aérienne des quatres ligneux utilisés.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

■ Matériel végétal

Le travail a porté sur les espèces ligneuses plantées dans la parcelle de l'Antenne de Recherches Forestières de Maroua-Salak ; il s'agit de deux espèces introduites : *Azadirachta indica, Dalbergia sissoo* et de deux espèces locales : *Acacia nilotica* et *Sclerocarya birrea*. Ces plantations ont été réalisées en quatre blocs. Nous avons retenu les arbres moyens (hauteur moyenne donnée par les mensurations de décembre 1989) pour les mesures et observations racinaires.

■ Méthodes

• Techniques de mise en place de la plantation

Un seul arbre a été retenu par type de travail du sol ; pour plus d'homogénéité pédologique, seuls les arbres du bloc n° 4 ont été utilisés. Rappelons que les différentes techniques de préparation du sol sont les suivantes : sous-solage au bulldozer, diguettes avec labour, diguettes sans labour, simple trouaison.

En ce qui concerne les deux types de diguettes, nous n'avons travaillé que sur les diguettes sans labour qui ont donné de meilleurs résultats pour le bilan hydrique.

• Étude de l'enracinement des arbres

Nous avons conçu une grille ayant un cadre métallique ; les mailles carrées de 5 cm de côté sont constituées de fil en nylon fortement tendu. Cette grille mesure 2 m de long et 1,50 m de large. Elle est plaquée contre le paroi de la tranche du sol, après que l'on ait ouvert une tranchée de dimension légèrement supérieure. Ceci permet de repérer les racines de l'arbre étudié (méthode CHOPART). Il ne s'agit pas, pour nous, de quantifier l'enracinement (biomasse ou volume racinaires) mais surtout de connaître leur répartition spatiale.

Les dimensions de cet instrument permettent non seulement d'étudier l'étalement des racines sur une longueur d'un mètre de part et d'autre de l'axe du collet, mais encore de suivre la profondeur de l'enracinement sur 150 cm et même au-delà.

• Collecte des données

La grille est graduée selon un repère orthonormé ; chaque maille étant repérée par un couple de lettre et chiffre (exemple A,14).

Nous avons pris soin de noter les limites supérieure et inférieure de l'horizon massif, argilique qui, en principe, devrait s'opposer à la pénétration racinaire. Le profil pédologique est en conséquence constitué de trois compartiments (pour la description du profil, voir l'article du même auteur sur le régime hydrique du planosol de Salak). L'horizon superficiel sablo-argileux a en moyenne une trentaine de centimètres d'épaisseur (compartiment 1). Les horizons massifs argilo-sableux ou argilo-limoneux sont situés en moyenne entre 30 et 120 cm de profondeur (compartiment 2) et l'horizon argileux se trouve en dessous (compartiment 3).

Chaque racine est repérée dans la grille, son diamètre est relevé. Les racines sont classées selon quatre classes de diamètre :

. Classe I : racines ayant un diamètre inférieur à 1 mm.

. Classe II : racines dont le diamètre est compris entre 1 et 10 mm.

. Classe III : racines dont le diamètre est compris entre 10 et 20 mm.

. Classe IV : racines dont le diamètre est supérieur à 20 mm.

Ce travail de repérage et de mesure de diamètres racinaires a été conduit sur trois tranches de sol situées à trois différentes distances du collet, à savoir : 1 m, 20 cm et 0 cm.

RÉSULTATS

Un programme informatique, mis au point par C. LIBERT, permet de visualiser les résultats par une représentation spatiale des racines ; le diamètre des taches sur la représentation graphique est proportionnel à celui des racines.Nous ne présenterons ici que les résultats obtenus à 0 cm du collet, sur quelques traitements, pour chacune des quatre espèces.

■ *Dalbergia sissoo*

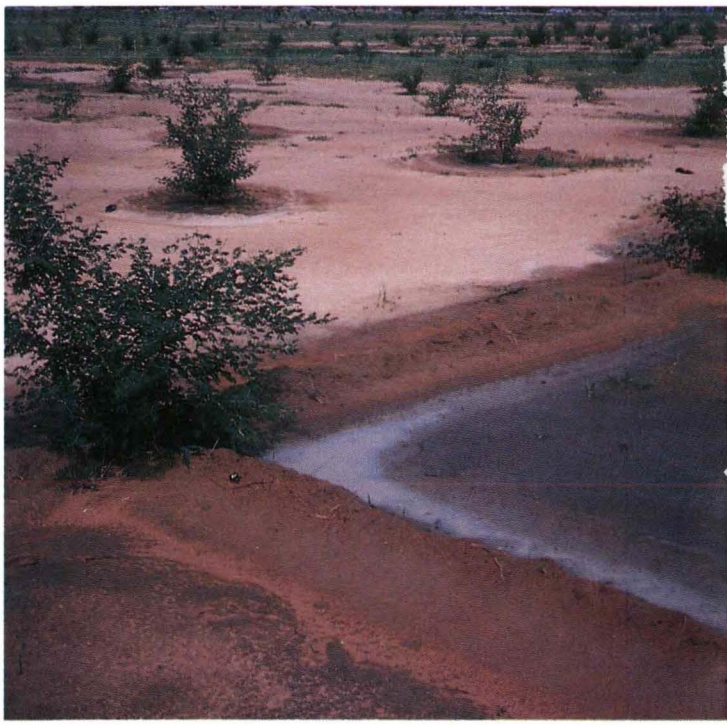
- **La trouaison** (fig. 1) : les racines, peu nombreuses, sont mal réparties et sont concentrées essentiellement dans le compartiment superficiel, en particulier dans le trou de plantation où se trouve un grand nombre de racines de diamètre supérieur à 20 mm. Entre 20 et 100 cm de profondeur, les racines, quoique rares, sont assez bien réparties pour profiter au mieux des maigres ressources en eau de ce sol.

- **Sous-solage** (fig. 2) : la biomasse racinaire (comme la biomasse aérienne) a fortement augmenté par rapport au témoin « trouaison ». On remarque une concentration des racines dans le trou de plantation et dans deux zones bien définies, l'une à droite de l'arbre et l'autre en dessous ; ces zones pourraient correspondre au passage de la dent de sous-solage. En dehors de ces zones, les racines sont de faible diamètre mais légèrement plus nombreuses que sur le témoin, ce qui traduit une alimentation en eau des couches profondes légèrement améliorée.

- **Diguettes** (fig. 3) : la biomasse racinaire a fortement augmenté. Très bonne répartition de racines moyennes dans l'horizon superficiel alimenté en eau presque uniformément (avec cependant une légère concentration du côté droit de la figure qui correspond, peut-être, à l'amont de la diguette où l'eau s'accumule préférentiellement). En profondeur, on remarque un bon nombre de racines moyennes dans le haut de l'horizon induré, ce qui montre clairement une amélioration de son alimentation en eau. Ce type de dispositif d'économie de l'eau permet une bonne utilisation des ressources du sol par les racines. On comprend que, si le boisement était utilisé comme jachère, la décomposition de ces racines créerait une bonne porosité et un bon apport de matière organique dans la partie « agricole » du profil (0-50 cm).

■ *Azadirachta indica*

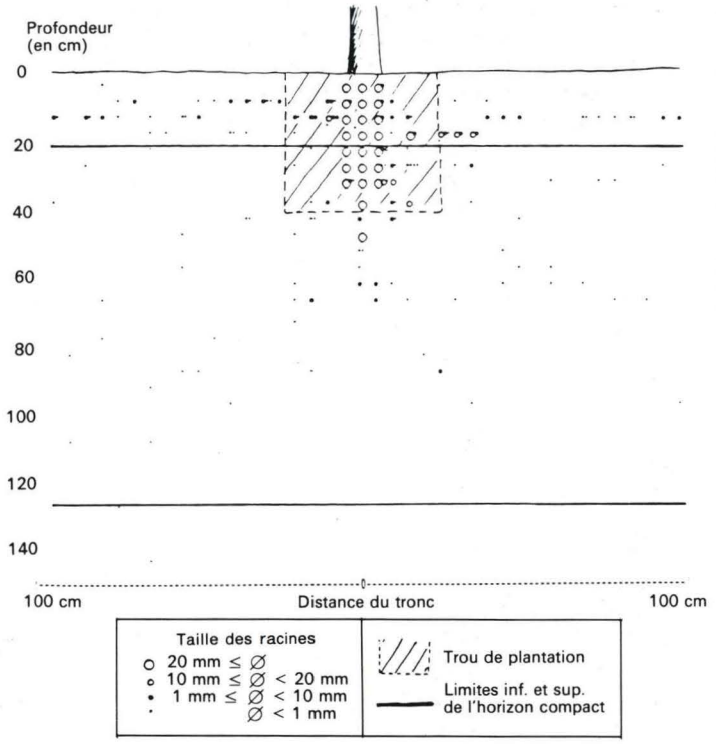
- **Trouaison** (fig. 4) : on a une répartition plus lâche des racines dans les trois compartiments du sol et plus dispersée que pour *Dalbergia sissoo* avec le même traitement (fig. 1) ; la plupart des racines ne dépassent pas 90 cm de profondeur. On remarque une certaine concentration de racines en limite supérieure de la zone compactée, où se produit une certaine accumulation d'eau.



Les systèmes d'économie de l'eau induisent une répartition dissymétrique des racines, surtout superficielles, qui se développent mieux dans les zones où l'eau pénètre, alors qu'elles sont rares sous les croûtes sableuses (blanches sur la photo) ou sous les pellicules d'algues (noires).

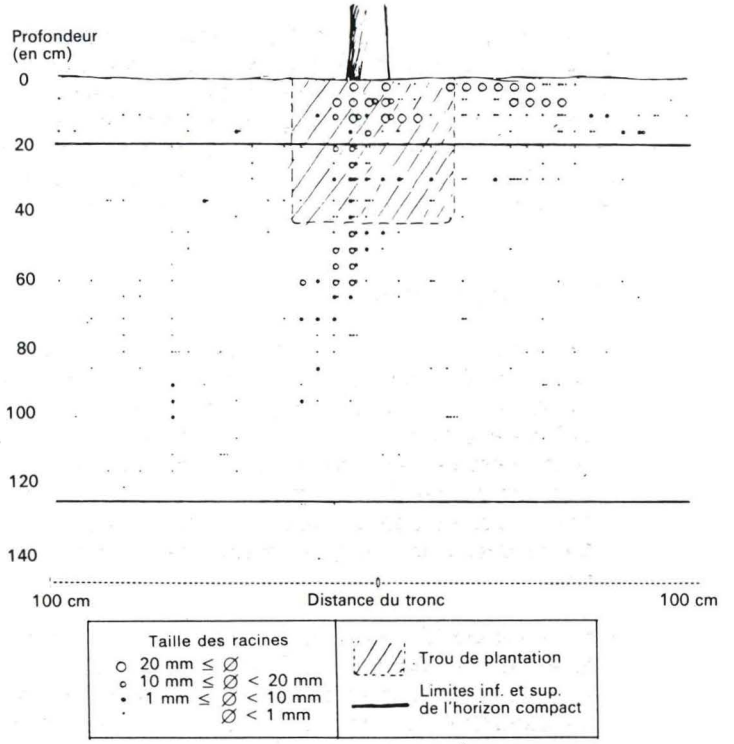
DIAGRAMME DE RÉPARTITION SPATIALE DES RACINES

FIGURE 1



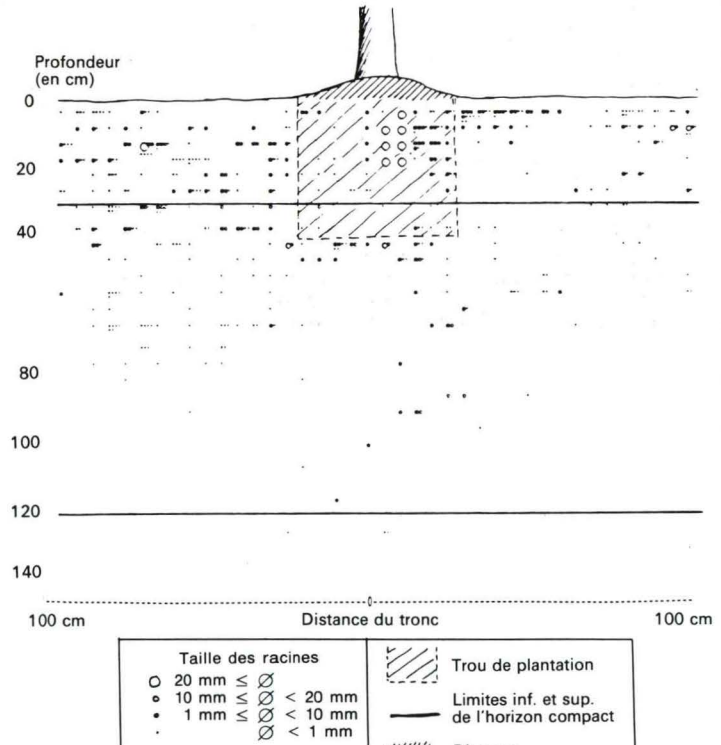
Espèce : *Dalbergia sissoo*. Travail du sol : Simple trouaison.

FIGURE 2



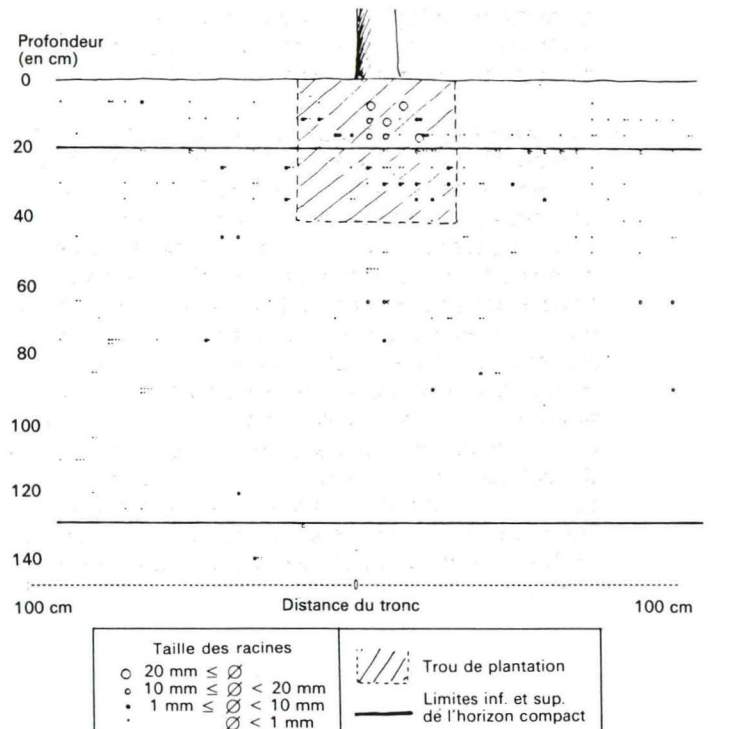
Espèce : *Dalbergia sissoo*. Travail du sol : Sous-solage + trouaison.

FIGURE 3



Espèce : *Dalbergia sissoo*. Travail du sol : Diguette + trouaison.

FIGURE 4



Espèce : *Azadirachta indica*. Travail du sol : Simple trouaison

- **Diguettes** (fig. 5) : les racines sont beaucoup plus nombreuses que dans le traitement précédent. De nombreuses racines ont un diamètre supérieur à 20 mm. Les deux compartiments supérieurs du sol sont assez uniformément colonisés. La plupart des racines s'arrêtent à 120 cm de profondeur. On remarque une colonisation plus forte du sol du côté droit de la figure, qui pourrait correspondre à l'amont de la diguette.

■ *Sclerocarya birrea*

- **Trouaison** (fig. 6) : on observe un développement très important des racines, surtout celles de diamètre élevé (classe IV), qui se répartissent de façon assez homogène entre le compartiment 1 et 2. La plupart des racines sont concentrées dans l'axe du collet. On trouve encore de nombreuses petites racines à 120 cm de profondeur. L'étude du système racinaire montre clairement que cette espèce locale est adaptée à ce type de sol. Il est constitué de grosses racines qui pénètrent bien les horizons compacts et qui vont chercher l'eau à de grande distance.

- Les traitements diguettes et sous-solage ont peu d'effet sur le système racinaire (c'est pourquoi les diagrammes correspondants ne sont pas présentés dans l'article).

■ *Acacia nilotica*

- **Trouaison** (fig. 7) : malgré l'absence de dispositif d'économie de l'eau, il y a un important développement des racines ; celles-ci colonisent de façon rationnelle les trois compartiments du sol. On a un mélange de racines des quatre catégories, les plus grosses étant surtout situées dans l'axe du collet.

- **Diguettes** (fig. 8) : on remarque une plus forte densité de racines dans l'horizon superficiel, bien mieux alimenté en eau en saison des pluies ; il y en a un véritable tapis en haut de l'horizon induré. Leur densité dans les horizons profonds est légèrement plus élevée que sur le témoin « trouaison » et on trouve des racines jusqu'à 150 cm de profondeur.

La forte densité de racine à 80 cm de profondeur pourrait correspondre à la zone d'accumulation de l'eau mise en évidence par l'étude des profils hydriques (voir article précédent, p. 104).

DISCUSSION DES RÉSULTATS

La principale critique que l'on peut formuler à l'encontre de ce travail provient du manque de répétitions. Il aurait fallu pour cela détruire l'essai en creusant de nombreuses tranchées.

■ *Dalbergia sissoo*

Il s'agit d'une espèce exotique non adaptée aux sols indurés. De ce fait, son enracinement est très sensible au travail du sol et aux dispositifs d'économie de l'eau. Une bonne colonisation de l'horizon superficiel a pour conséquence de permettre une bonne croissance initiale en hauteur de l'espèce mais les réserves hydriques superficielles ne suffisent pas, toutes seules, à assurer un bon taux de survie (TS) en saison sèche. En effet, *Dalbergia sissoo* est l'espèce qui a le TS le plus bas ne dépassant pas 40 % quel que soit le type de traitement. Ce taux est de 28 % pour la simple trouaison.

■ *Azadirachta indica*

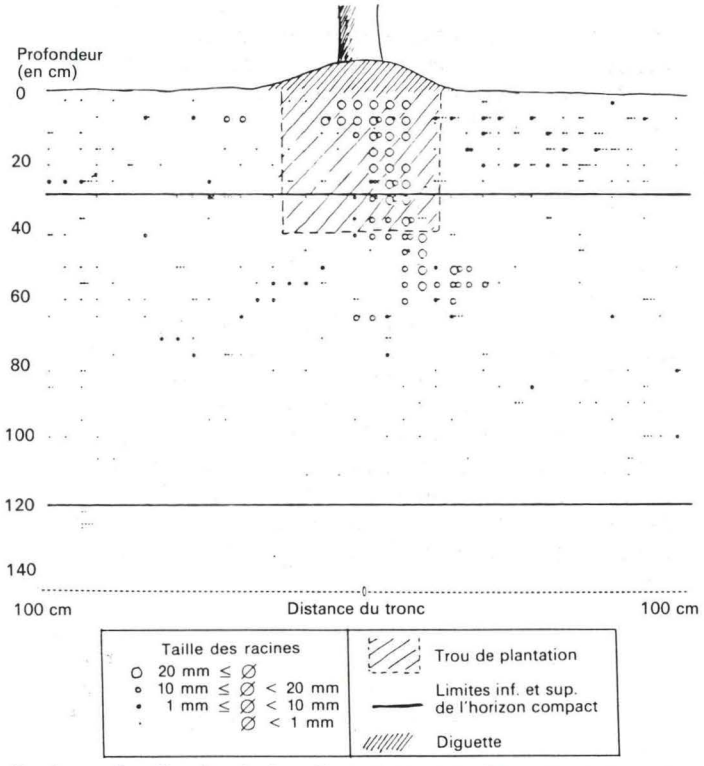
L'enracinement de cette espèce est fortement favorisé par les dispositifs d'économie de l'eau ; les diguettes donnent le meilleur résultat, ceci se vérifiant également au niveau de la croissance en hauteur et du taux de survie. Nous constatons que les racines ont du mal à pénétrer l'horizon compact qu'elles suivent horizontalement avant de « plonger » à l'occasion d'une discontinuité.

■ *Sclerocarya birrea*

Cette espèce locale a un bon enracinement, quel que soit le type de préparation du sol. La bonne colonisation des différents compartiments du sol lui permet d'avoir un approvisionnement hydrique satisfaisant avec l'un des taux de survie le meilleur (entre 80 et 96 %). Nous serions tentés de dire qu'il n'est pas indispensable que le terrain soit préalablement préparé avant la mise en place de cette espèce (bonne répartition racinaire, bonne croissance et bon TS). Mais comme nous l'avons dit par ailleurs (cf. article sur le régime hydrique du planosol de Salak), le traitement trouaison (témoin) ne représente plus un véritable témoin à cause de la proximité des autres traitements. La croissance en hauteur de cette espèce est la plus faible. On pourrait dire qu'elle assure d'abord un bon développement racinaire avant le développement de son appareil aérien.

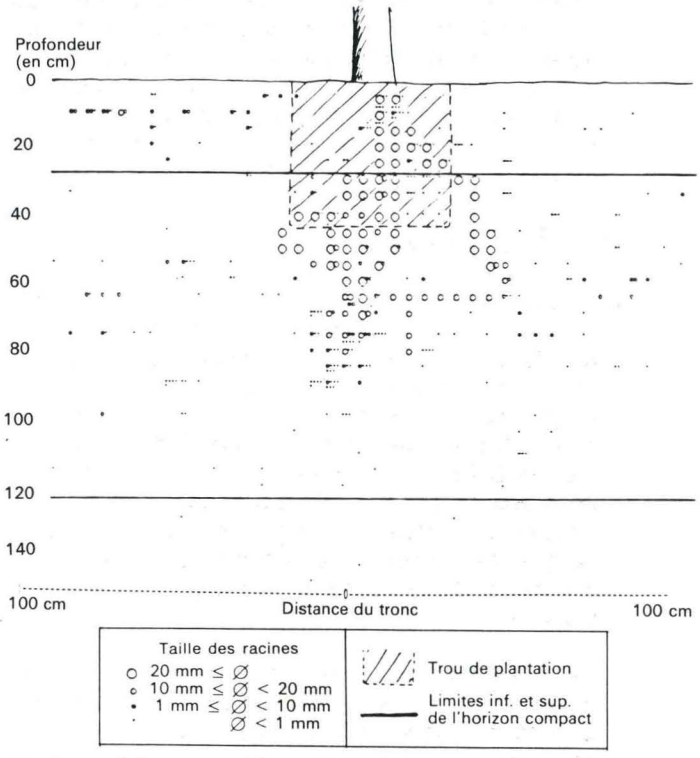
DIAGRAMME DE RÉPARTITION SPATIALE DES RACINES

FIGURE 5



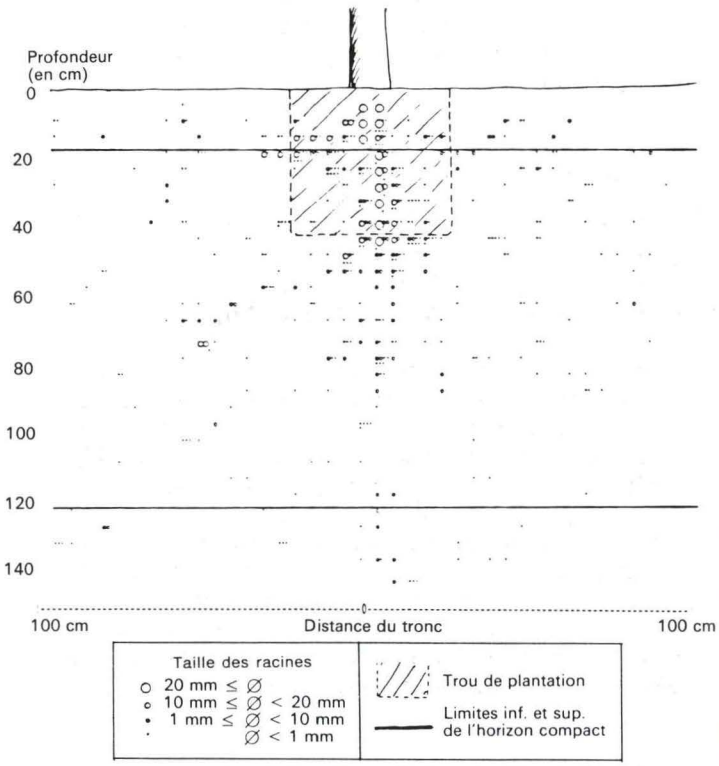
Espèce : *Azadirachta indica.* Travail du sol : Diguette + trouaison.

FIGURE 6



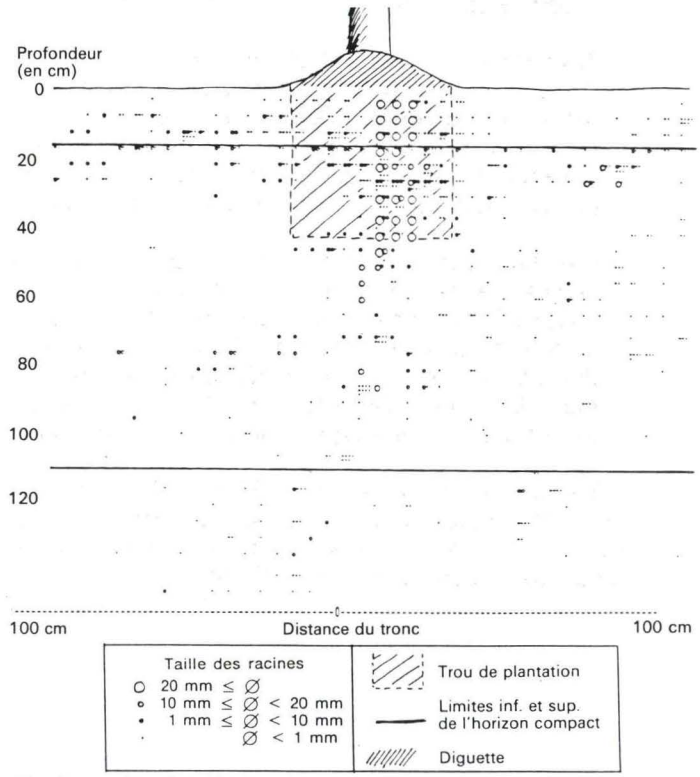
Espèce : *Sclerocarya birrea.* Travail du sol : Simple trouaison

FIGURE 7



Espèce : *Acacia nilotica.* Travail du sol : Simple trouaison

FIGURE 8



Espèce : *Acacia nilotica.* Travail du sol : Diguette + trouaison.

■ *Acacia nilotica*

Cette autre espèce locale, comme *Sclerocarya birrea*, a une bonne répartition racinaire dans les différents compartiments du sol et ceci quel que soit le traitement considéré. Contrairement aux autres espèces, ses racines ont tendance à « plonger » directement dans les couches les plus profondes au voisinage même du collet ; ceci témoigne de la puissance de cet enracinement d'autant plus que l'on observe ce phénomène pour la trouaison et les diguettes, traitements ne demandant qu'une préparation assez superficielle du sol avant la plantation. La croissance en hauteur et le taux de survie de cette espèce sont assez corrects par rapport à ceux de *Sclerocarya birrea*. En effet, à cinq ans, ils sont respectivement de 330 cm et 88 %. *Acacia nilotica* assure à la fois un bon développement de son appareil aérien et racinaire.

Il faut cependant relativiser ce résultat dans la mesure où l'individu moyen du traitement par simple trouaison, utilisé pour cette étude, dépasse en hauteur les individus moyens des autres répétitions du même traitement (un mètre de différence au moins). Le très bon développement racinaire du traitement-témoin pourrait en effet s'expliquer par le fait que ce témoin n'est pas représentatif.

CONCLUSION

Il se dégage de ce travail des renseignements sur le développement racinaire des quatre espèces sur le sol Hardé de Salak.

■ Le comportement spécifique

Trois types d'espèces peuvent être distingués :

- Espèce à développement racinaire superficiel sans possibilité de prospecter correctement l'horizon compact sous-jacent : il s'agit de *Dalbergia sissoo*. Les réserves hydriques « pompées » par les racines superficielles ne suffisent plus, à un moment donné, pour assurer les besoins en eau du houppier de cette espèce à croissance très rapide, ce qui entraîne la mort des arbres à trois ou quatre ans.
- Espèce réagissant favorablement au travail du sol : il s'agit d'*Azadirachta indica* et d'*Acacia nilotica*, dont l'enracinement s'améliore de façon significative avec le travail du sol ; le meilleur enracinement est obtenu avec les diguettes suivies du sous-solage.
- Espèce « indifférente » au travail du sol : c'est le cas de *Sclerocarya birrea*;. cette espèce donne un important développement et une bonne répartition racinaire lorsque le terrain n'est pas préalablement préparé ou l'est superficiellement (diguette). Cette espèce développe un système racinaire puissant avant le développement de l'appareil aérien. *Sclerocarya birrea* se rencontre naturellement avec *Lannea humilis* et *Balanites aegyptiaca* sur sol Hardé.

■ Influence de l'horizon compact

En dehors d'*Acacia nilotica*, les trois autres espèces n'ont pas de système racinaire qui plonge au voisinage du collet, dans les couches profondes du sol. Les racines s'irradient d'abord en s'étalant horizontalement ou de façon oblique dans les compartiments superficiels, avant de prendre une progression verticale vers les couches profondes.

Quels que soient l'espèce et le traitement, au moins 50 % des racines ont pu accéder ou dépasser l'horizon massif. ■

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CHOPART (J.L.) — Méthodes d'étude de l'enracinement à mettre en oeuvre dans le projet de recherche R3S P2. (Amélioration de l'alimentation hydrique par les techniques culturales). Communication personnelle.

KUMMEROW (J.), KRAUSE (D.), JOW (W.), 1977 — Root systems of chaparral shrubs.Oecologia (Berl.) 29, pp. 163-177.

KUMMEROW (J.), KRAUSE (D.), JOW (W.), 1978 — Seasonal changes of fine root density in the southern California chaparral. Oecologia (Berl.) 37, pp. 201-212.

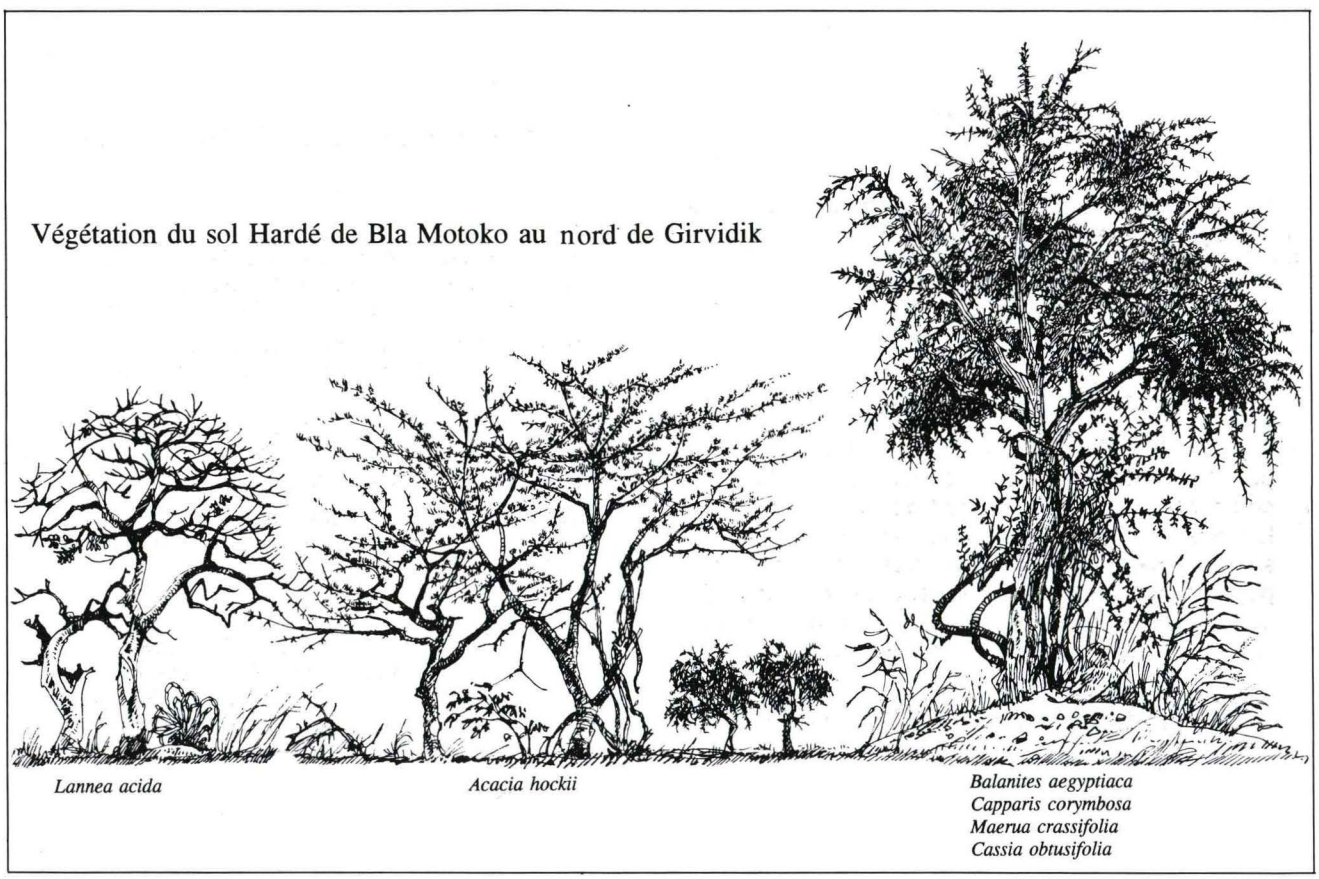
PICARD (D.), 1984 — Etudes racinaires et résistance à la sécheresse. Rapport du Colloque sur la sécheresse en zone tropicale pour une lutte intégrée.

Oscar EYOG MATIG
Institut de la Recherche Agronomique
BP 415
Garoua (Cameroun)

LES RECHERCHES SUR LES TERRES HARDÉ

Bilan et perspectives

par René BILLAZ, agronome,
ancien Conseiller Scientifique au Projet Garoua



L'ensemble des contributions présentées dans cet ouvrage nous offre une large gamme de connaissances nouvelles sur cette sorte de lèpre affectant les vertisols et les planosols dans le Bassin du Lac Tchad et, en particulier, au Nord-Cameroun : la dégradation en sols Hardé.

Il se dégage de ces travaux plusieurs points qui méritent réflexion et qui pourraient conduire à des orientations nouvelles. Pour ma part, j'en vois trois essentiels :

- Sols Hardé et désertification : la menace est-elle si grave ?
- La nature révèle un grand potentiel de régénération : comment l'aider à faire encore mieux ?
- Notre capacité à décrire et expliquer reste encore modeste : comment l'améliorer ?

HARDÉ ET DÉSERTIFICATION

Christian SEIGNOBOS nous ouvre les portes de l'espace « Karal/Hardé » perçu et utilisé par les populations rurales de l'Extrême-Nord.

On en retient la finesse de description concernant les karals et leurs modes d'utilisation (ainsi que leur tarif de « fermage »), mais aussi que les sols Hardé ne sont pas perçus comme irrécupérables, la constitution de diguettes permettant à tout moment de leur donner la possibilité de retrouver leur (ou un certain ?) potentiel. Les écologues et les forestiers montrent bien, pour leur part, que la remise en eau (par limitation du ruissellement) redonne aux herbacées et aux ligneux (plantés) une nouvelle possibilité de développement.

Par ailleurs, Christine TRIBOULET arrive à la conclusion suivante : dans l'espace couvert par les images Spot qu'elle a étudiées, les sols Hardé n'occuperaient pas plus de 5 % en 1987 et 1988.

Les scientifiques crieraient-ils au loup (de la désertification) pour le plaisir ? *

Pourtant :

- L'importance des défrichements (dans l'Extrême-Nord) est incontestable : de nombreux témoignages « écrits et oraux » en rendent compte **.
- La dégradation des états de surface, avec ses conséquences et le « dessèchement » du sol, est bien établie.
- Le passage des vertisols aux sols Hardé, s'accompagnant d'un dysfonctionnement hydrique, est maintenant bien décrit. Celui des planosols est en voie de l'être ; on connaît, en tout état de cause, des cas de planosols ayant évolué vers les sols Hardé.

La recherche est ainsi sollicitée à :

- créer des outils (de terrain et d'imagerie satellitaire) capables d'assurer l'évaluation fiable du processus « d'hardéisation » à partir des principaux types de sols *** ;
- établir les relations entre les modes de gestion des principaux types de sol et l'évolution éventuelle vers les sols Hardé **** ;
- apprécier ainsi la dynamique d'extension des sols Hardé et les risques subséquents pour les deux provinces du Nord-Cameroun.

LA RÉGÉNERATION

- **Le mouskouari** est pratiqué par les agriculteurs après avoir constitué des casiers de diguettes.
- ***Schoenefeldia gracilis*** (pour les herbacées), dont le stock de graines dans le sol est important, a une capacité de recolonisation élevée, tout en ayant une grande plasticité d'adaptation phénologique aux épisodes pluvieux, dès lors qu'on améliore le stock d'eau du sol (diguettes, pitting, travail du sol...).

* Ndlr. Comme pour la désertification, il faudrait considérer qu'une terre est hardéisée si, au bout de 25 ans de mise en défens, elle n'a pas retrouvé son potentiel initial... et ceci sans intervention ou dynamique provoquée (R. PONTANIER).

** Ndlr. Ou peut-être le raccourcissement des temps de jachère est-il simplement perçu comme une accélération du défrichement ?

*** Travaux en cours pour les planosols.

**** Travaux en cours pour le mouskouari/vertisols.

- ***Sclerocarya birrea*** (pour les ligneux), largement présent dans les jachères, répond très positivement aux travaux d'aménagement (particulièrement les casiers de diguettes) en manifestant une croissance continue et soutenue grâce, sans doute, à son système radiculaire puissant et capable de se développer au-delà de la surface planique.

On voit ainsi que les agriculteurs savent comment régénérer des sols Hardé et que la nature offre d'elle-même un potentiel certain de régénération, à partir du moment où le ruissellement est limité artificiellement et où le stock d'eau contenu dans le sol est amélioré. D'ailleurs, avec un recouvrement de végétation de plus de 35 %, le ruissellement est fortement freiné (B. THEBE).

Par ailleurs, J.-M. HARMAND montre que sur *Acacia senegal* les fossés (en anneau ou rectilignes) ont un effet améliorateur comparable à celui des diguettes (à coût égal de travail du sol pour les fossés en anneaux).

Ne dispose-t-on pas, dans ces conditions, d'un référentiel suffisamment fin pour proposer aux responsables du Département et aux communautés villageoises la gamme d'alternatives qui permettrait d'accélérer le processus de régénération ? En associant soit des plantations d'arbres aux carroyages de diguettes effectués spontanément par les paysans, soit en discutant avec eux sur la meilleure façon d'améliorer les sols Hardé en fonction de la végétation actuelle et de leurs besoins en fourrage et en bois ?

En tout état de cause, c'est avec eux « les agriculteurs/éleveurs » que se feront ces aménagements : pourquoi ne pas proposer des actions pilotes (encadrées par le développement, suivies par la recherche) ?

LES ACQUIS ET PERSPECTIVES SCIENTIFIQUES

Les acquis scientifiques, nombreux et importants, portent sur :

- la connaissance des savoirs et pratiques paysannes ;
- l'utilisation de l'imagerie Spot ;
- la connaissance des peuplements végétaux et de leur dynamique ;
- les étapes de la dégradation des vertisols ;
- l'hydrologie de surface des vertisols ;
- le comportement hydrique et racinaire dans différentes modalités de réhabilitation ;
- le comportement de différentes espèces arborées sous ces mêmes modalités.

Je retiendrais, quant à moi, quelques points saillants concernant en particulier l'économie de l'eau :

- sur ces vertisols dégradés, la mesure du ruissellement par la méthode de l'infiltromètre à aspersion permet d'extrapoler de façon satisfaisante à l'échelle d'un petit bassin versant ;
- au niveau de la surface planique (essais de Salak), ne se manifeste qu'une discontinuité limitée dans la dynamique de l'eau, quel que soit le traitement : des mesures plus fines le mettraient mieux en évidence, mais les compartiments communiquent apparemment sans trop de peine ;
- en revanche, pour trois des quatre espèces arbustives étudiées, les racines pénètrent difficilement au-delà de cette surface planique.

De ces deux dernières observations résultent :

- une question relevant de la physiologie des racines (comportement au niveau de la surface planique) ;
- un besoin de criblage des espèces (et variétés) en fonction de leur capacité à développer un système racinaire « puissant » (vis-à-vis des surfaces paniques) et profond (pour valoriser les disponibilités hydriques).

Des travaux spécifiques mériteraient d'y être consacrés, de même que devront être poursuivis ceux qui ont été amorcés plus récemment, à savoir :

- l'étude pédologique de la formation et du fonctionnement des sols Hardé (travaux ORSTOM, M. LAMOTHE) ;
- l'étude vertisols/mouskouari (dégradation en liaison avec la culture), suivie de travaux sur d'autres modalités de préparation des terres à mouskouari, moins destructrices de matière organique ;
- les études sur la gestion des terroirs et des exploitations, amorcées en 1991, avec le renforcement du programme « système » de l'IRA. ■

René BILLAZ
I.I.C.A.
Shis QI 05, Conjunto 9, Casa 02995
Brasilia D.F. (Brésil)

Comité de lecture : R. BILLAZ, F. GRISON, R. GUIS ET R. PONTANIER

Editeur scientifique : R. PELTIER

Editeur : F. LAVAUX

Photos : R. PELTIER

Dessins : C. SEIGNOBOS

LE CIRAD

Le CIRAD, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, est un organisme scientifique spécialisé en agriculture des régions tropicales et subtropicales. Il réalise, dans une cinquantaine de pays, des opérations de recherche, de développement agricole et de formation. Il emploie 1 850 personnes, dont 920 cadres. Son budget s'élève à près de 1 milliard de francs, dont plus de la moitié provient de fonds publics.

CIRAD

The Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD) is a French center for international cooperation in development-oriented agricultural research, with emphasis on tropical and subtropical zones. It carries out research, agricultural development, and training operations in about 50 countries. CIRAD employs 1 850 people, including 920 senior scientists and administrators. The Center's budget amounts to approximately 1 billion French francs, more than half of which is derived from public funds.

42, rue Scheffer
75116 Paris
France
Téléphone : (1) 47 04 32 15
Télécopie : (1) 47 55 15 30
Télex : CIRAD 648729 F

Avenue du Val de Montferrand
BP 5035
34032 Montpellier Cedex 1
France
Téléphone : 67 61 58 00
Télécopie : 67 61 59 86
Télex : CIRAD 480762 F

© CIRAD-Forêt

IMPRIMERIE F. PAILLART, B.P. 109, 80103 ABBEVILLE — (8485)
DÉPÔT LÉGAL : 2e TRIMESTRE 1993

LES TERRES HARDÉ

ÉDITION DU CIRAD-Forêt

ONT COLLABORÉ A CE NUMÉRO

BILLAZ R., DONFACK P., EYOG MATIG O., FLORET C., HARMAND J-M., MASSE D., PONTANIER R., SEGHIERI J., SEIGNOBOS C., SEINY-BOUKAR L., THÉBÉ B., TRIBOULET C.

ISBN : 2-87614-098-5