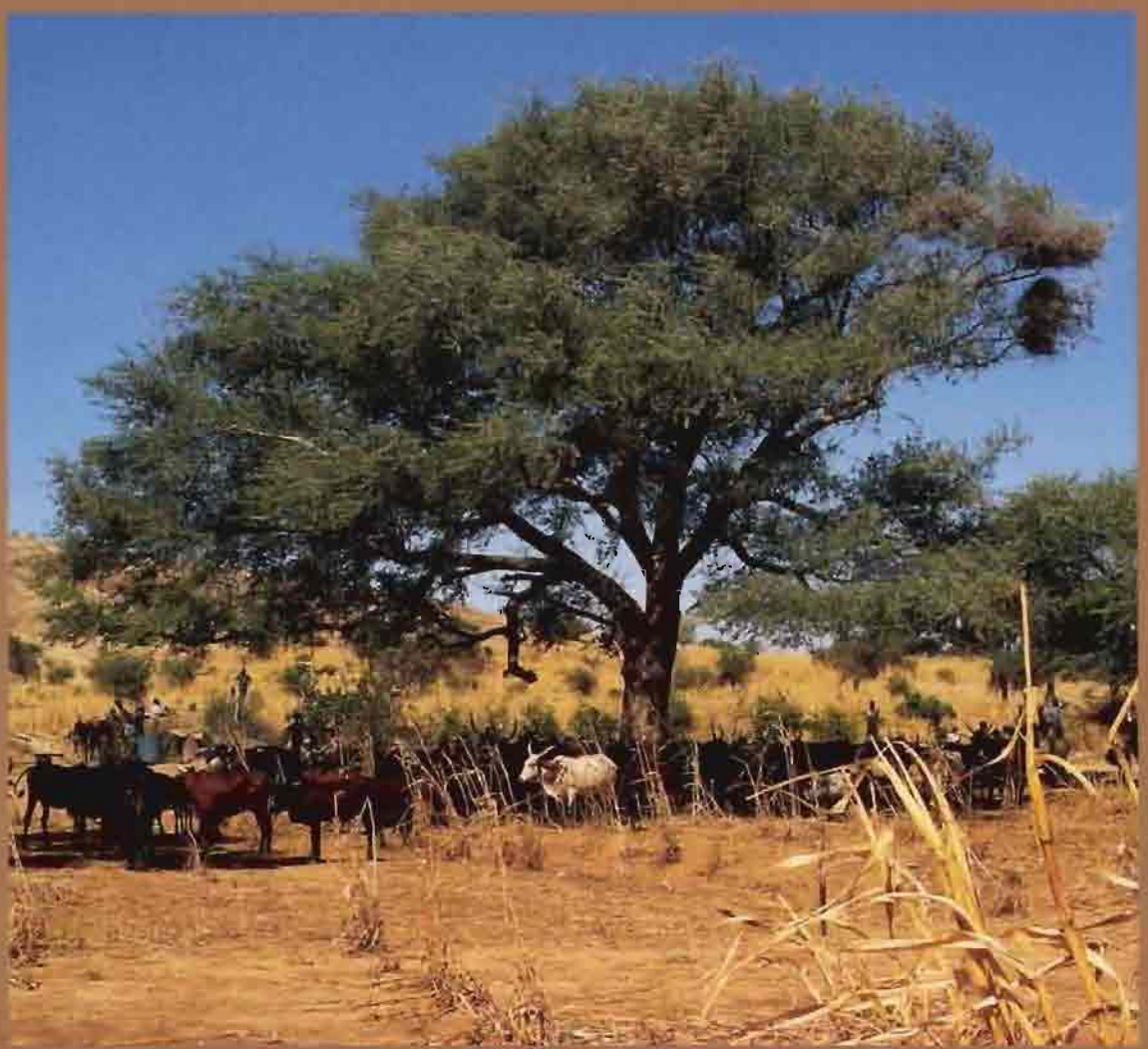
CAHIERS SCIENTIFIQUES N° 12

LES PARCS À FAIDHERBIA



CORAF

ORSTOM

CIRAD

CAHIERS SCIENTIFIQUES N° 12

LES PARCS À FAIDHERBIA

Cet ouvrage est publié par le CIRAD-Forêt avec le concours des Départements E.M.V.T. et C.A. du CIRAD, de l'ORSTOM, des Centres de Recherches Agronomiques Africains regroupés au sein de la CORAF (IDEFOR de Côte-d'Ivoire, IRA du Cameroun, IRBET du Burkina Faso, ISRA du Sénégal) et de plusieurs organismes de recherche et de développement (D.N.E.F. du Mali, ICRISAT et D.E. du Niger, Université de Dschang du Cameroun, INRA, Université Paris VI et Ministère de la Coopération en France).

CIRAD-Forêt

Centre international de Baillarguet
B.P. 5035
34032 MONTPELLIER CEDEX 1 - FRANCE
Tél. : 67 61 58 00 - Télécopie : 67 59 37 55

PRÉFACE

L'objectif de la recherche agronomique africaine est d'aider le monde rural à mieux gérer son environnement en produisant plus, mieux, avec une bonne rentabilité économique et en préservant au mieux son capital sol et biodiversité.

Pour ce faire, il faut mettre au point ou améliorer des systèmes de culture qui rendent compatibles les différentes productions (cultures vivrières et de rente, production animale, bioénergie) qui réduisent les intrants et maintiennent à long terme la vie biologique des sols et de tout l'environnement.

C'est pourquoi il nous semble essentiel d'encourager les recherches sur les systèmes agrosylvopastoraux, dans lesquels les parcs à *Faidherbia albida* restent irremplaçables.

Ces systèmes sont traditionnels en Afrique soudanienne mais leur fonctionnement est si subtil qu'il reste mal connu des chercheurs. Quant aux paysans, si des siècles de pratique leurs ont permis d'en cerner les intérêts et les limites dans des conditions écologiques et socio-économiques données, ils ne savent pas bien comment les faire évoluer lorsque leur environnement change pour diverses raisons.

Pour de telles études, il est absolument nécessaire d'avoir une approche multidisciplinaire. Il faut en effet comprendre par des enquêtes sociologiques les comportements des paysans, il faut mieux connaître le fonctionnement de l'arbre, du sol, des cultures, appréhender les inter-relations, les synergies, évaluer les productions et tester des méthodes d'amélioration en définissant leurs potentialités et leurs limites.

Par ailleurs, si de tels systèmes ont été véhiculés à travers l'Afrique de savanes par les peuples d'agropasteurs, pourquoi les chercheurs devraient-ils s'enfermer au sein de leurs frontières ? Il est particulièrement fructueux de pouvoir mener des travaux dans différents pays, car ceux-ci se complètent et permettent des comparaisons.

Je suis donc heureux que soient aujourd'hui publiées ces recherches qui s'inscrivent parfaitement dans la logique de la CORAF en général et du Projet Garoua II en particulier. Celles-ci auront contribué à éclairer un certain nombre de points et à ouvrir de nouvelles pistes à la recherche, tout en donnant de précieuses recommandations au développement.

Que soient remerciés tous les chercheurs qui ont contribué à cet ouvrage, le comité de lecture parmi lequel se trouvaient certains de ceux qui ont ouvert la voie aux recherches sur les parcs comme P. PELISSIER, ainsi que l'éditrice F. LAVAUX et l'éditeur scientifique R. PELTIER.

L. SEINY BOUKAR
Directeur du Projet Garoua II

NOTE DE L'ÉDITEUR SCIENTIFIQUE

Vous venez d'ouvrir cet ouvrage avec le désir, si vous êtes un chercheur spécialisé dans l'un des domaines qui recouvre faidherbia, d'élargir vos horizons à d'autres disciplines. Si vous êtes plutôt un généraliste, sans doute avez-vous des idées simples mais belles, presque poétiques, sur cet arbre paré de toutes les vertus par la littérature : arbre miracle du Sahel ; arbre capable d'être vert en pleine sécheresse, donc sobre a priori ; arbre anticonformiste qui perd ses feuilles en saison des pluies pour ne pas ombrager les semis, puis les reprend au moment de la maturation pour protéger le sol tout au long de la saison sèche suivante et produire un complément fourrager azoté ; arbre aimé des populations, parfaitement intégré dans la tradition de la plupart des peuples d'agropasteurs et protégé jalousement par les pouvoirs traditionnels et modernes ; arbre auquel se sont intéressés les chercheurs depuis des décennies ; arbre fétiche des ONG agroforestières qu'elles ont propagé avec succès.

A vous lecteur déjà acquis à la cause de cet arbre, et aux autres plus sceptiques, je conseillerai tout d'abord de lire ou de relire l'abondante littérature * qui a déjà été produite sur faidherbia.

Mais si tant de choses ont déjà été dites sur ce sujet, quelles nouveautés vous apportera cet ouvrage ? Des travaux en cours ou réalisés dans les années 90, mais pas encore publiés, et en priorité ceux réalisés par le projet Garoua II du Nord-Cameroun au sein duquel est née l'idée de cette publication, ceux menés par, ou avec, le CIRAD-Forêt qui finance cette publication, ainsi que quelques autres effectués par des partenaires extérieurs.

• **La première partie** regroupe des données sur le fonctionnement et les productions de l'arbre faidherbia : comment se reproduit-il, à quelle vitesse pousse-t-il en parcs traditionnels, que produit-il comme fourrage, comment résiste-t-il à la sécheresse ?

• **La deuxième partie** rassemble des données, hélas trop peu nombreuses, concernant l'influence des arbres sur la production des cultures ; on y trouvera la description des méthodes utilisées et des résultats originaux, en particulier sur le coton.

• Dans **la troisième partie,** ce n'est plus l'arbre isolé, l'arbre et l'animal ou l'arbre avec la culture qui sont étudiés séparément ou en binôme, mais le « système parc » dans son ensemble, pris à l'intérieur d'un terroir villageois, d'un système

* Citons sans être exhaustifs la monographie de *Faidherbia albida,* version française ou anglaise, publiée par le CIRAD-Forêt en 1988, les actes de l'atelier ICRISAT/ICRAF de Niamey édités par VAN DEN BELDT en 1992 sous les auspices de l'ICRAF ; le recueil « Physiologie des arbres et arbustes en zone aride et semi-aride » édité par A. RIEDACKER *et al*, du Ministère Français de la Coopération ; la monographie de faidherbia publiée par l'IRBET en 1987, sous la responsabilité de E. BONKOUNGOU

agraire ou d'une région. Nos collègues géographes et ethno-socio-économistes ont ici principalement la parole... ou plutôt se font les interprètes de la parole des agriculteurs et des pasteurs.

• **La quatrième partie** pose la grande question : Faut-il planter des faidherbias ? Où ? (même si certains éléments de réponse ont déjà été donnés dans les articles précédents), avec quel matériel végétal, quels symbiotes associées...

Bien entendu de nombreuses questions resteront en suspens mais, à travers les articles et, au-delà, en se référant à l'abondante bibliographie citée par les auteurs, je pense que vous en apprendrez beaucoup sur le faidherbia, y compris des choses surprenantes...

Enfin que ceux du Nigeria, du Mali, du Sénégal, d'Afrique de l'Est... qui n'ont pu se joindre à nous, veuillent bien nous pardonner, et c'est de tout coeur que nous leur souhaitons d'écrire une suite à ce livre, tant, on le verra, il reste de recherches à mener sur ce thème.

Ah ! J'oubliais. Fallait-t-il dire *Acacia albida* ou *Faidherbia albida* ? Pour ma part, je n'ai pas voulu entrer dans cette vieille querelle et j'ai laissé aux différents auteurs le choix d'utiliser le nom scientifique qu'ils ont souhaité. Par contre, j'ai estimé que le mot « faidherbia » utilisé depuis des décennies par les scientifiques francophones pouvait être considéré comme étant le nom commun français (donc accordé au pluriel) qui désigne cet arbre, même si d'autres préfèrent les mots « cad », « gao », « tchaski », « balanzan »... qui restent, à mon avis, des noms plutôt régionaux.

Bonne lecture !

Régis PELTIER

SOMMAIRE

LES PARCS À FAIDHERBIA

PREMIÈRE PARTIE : L'ARBRE FAIDHERBIA

9

PRODUCTION FRUITIÈRE ET DEVENIR DES SEMENCES DE *FAIDHERBIA ALBIDA*

La part des insectes spermatophages et du bétail dans la régénération de l'espèce

par Denis DEPOMMIER, agroforestier, CIRAD-Forêt/IRBET

23

CROISSANCE DE *FAIDHERBIA ALBIDA* DANS LES PARCS DU BURKINA FASO

Etude des cernes annuels dans la tige et le pivot racinaire

par Denis DEPOMMIER, agroforestier, CIRAD-Forêt/IRBET
et Pierre DETIENNE, anatomiste des bois, CIRAD-Forêt

45

***FAIDHERBIA ALBIDA* ET *ACACIA SEYAL* ESSENCES PIONNIÈRES**

Régénération dans le bassin du Pondori au Mali en fonction de la morphopédologie et des évolutions climatiques et agraires

par Alain BERTRAND, économiste forestier, CIRAD-Forêt
et Abou Lamine BERTHE, ingénieur, DNEF

55

ÉMONDAGE TRADITIONNEL DE *FAIDHERBIA ALBIDA*

Production fourragère, valeur nutritive et récolte de bois à Dossi et Watinoma (Burkina Faso)

par Denis DEPOMMIER, agroforestier, CIRAD-Forêt/IRBET
et Hubert GUERIN, spécialiste de l'alimentation animale, CIRAD-EMVT

85

ÉCOPHYSIOLOGIE DE *FAIDHERBIA ALBIDA*

Fonctionnement hydrique en parc agroforestier et variabilité intraspécifique de caractéristiques juvéniles

par Olivier ROUPSARD, écophysiologiste, CIRAD-Forêt
Hélène I. JOLY, généticien, CIRAD-Forêt
et Erwin DREYER, écophysiologiste, INRA

DEUXIÈME PARTIE : SOLS ET CULTURES

103

***FAIDHERBIA ALBIDA* ET PRODUCTION COTONNIÈRE**

Modification du régime hydrique et des paramètres de rendement du cotonnier sous couvert du parc arboré au Nord-Cameroun

par Christophe LIBERT, agroforestier, Ministère de la Coopération
et Oscar EYOG MATIG, pédologue et écophysiologiste, IRA

123

INFLUENCE DE *FAIDHERBIA ALBIDA* SUR L'ARACHIDE ET LE MIL AU SÉNÉGAL

Méthodologie de mesure et estimations des effets d'arbres émondés avec ou sans parcage d'animaux

par Dominique LOUPPE, agroforestier, CIRAD-Forêt
Babou N'DOUR, agroforestier, ISRA/DRPF
et Samba Arona N'Diaye SAMBA, agroforestier, ISRA/DRPF

SOMMAIRE

141

INFLUENCE DE *FAIDHERBIA ALBIDA* SUR LE SOL ET LE SORGHO

Observations dans le parc de Watinoma au Burkina Faso

par Robert OLIVER, agronome et agrochimiste, CIRAD-CA
Denis DEPOMMIER, agroforestier, CIRAD-Forêt
et Eve JANODET, étudiante en pédologie, université Paris VI

TROISIÈME PARTIE : PARCS, ÉCOLOGIE ET SOCIÉTÉ

153

***FAIDHERBIA ALBIDA* - ÉLÉMENT DÉCRYPTEUR D'AGROSYSTÈMES**

L'exemple du Nord-Cameroun

par Christian SEIGNOBOS, géographe, ORSTOM

173

PLACE DU PARC À *FAIDHERBIA ALBIDA* DANS UN TERROIR SOUDANIEN

Le cas d'un village Sénoufo au nord de la Côte-d'Ivoire

par Christelle BERNARD, laboratoire SIG, CIRAD-Forêt
Nklo OUATTARA, forestier, IDEFOR/DFO
et Régis PELTIER, agroforestier, CIRAD-Forêt

191

DYNAMIQUE DES PARCS À *FAIDHERBIA ALBIDA*

Contraintes écologiques et économiques sur le terroir de Watinoma au Burkina Faso

par Sibiri OUEDRAOGO, agroforestier, IRBET/CNRST
et D.Y. ALEXANDRE, géographe, ORSTOM

203

IDENTIFICATION DES PARCS À *FAIDHERBIA ALBIDA* PAR TÉLÉDÉTECTION

Premiers travaux réalisés au Nord-Cameroun

par Christine TRIBOULET, télédétection, ORSTOM

QUATRIÈME PARTIE : PLANTER FAIDHERBIA ?

217

UNE MÉTHODE ORIGINALE POUR PLANTER ET GÉRER *FAIDHERBIA ALBIDA*

Croissance initiale des plants et microclimatologie sous arbres adultes

d'après Rick J. VAN DEN BELDT

227

SYSTÈME RACINAIRE DE *FAIDHERBIA ALBIDA* EN PLANTATION

Premières observations au Nord-Cameroun

par Oscar EYOG MATIG, pédologue et écophysiologiste, IRA

B*6101

SOMMAIRE

LES PARCS À FAIDHERBIA

237

EFFET DU PHOSPHATE NATUREL SUR DE JEUNES *ACACIA ALBIDA* EN PRÉSENCE OU NON DE MYCORHIZES

par Amadou BÂ, microbiologiste, IRBET
Marcel BAZIÉ, microbiologiste, IRBET
et Tiby GUISSOU, microbiologiste, IRBET

245

SYMBIOSE *FAIDHERBIA ALBIDA* - RHIZOBIUM

Etude en laboratoire des caractéristiques symbiotiques et écophysiologiques

par Didier LESUEUR, microbiologiste, CIRAD-Forêt
Clément Forkong NJITI, agroforestier, IRA
Mahamadi DIANDA, microbiologiste, IRBET
et Antoine GALIANA, microbiologiste, CIRAD-Forêt

259

COMPARAISON DE PROVENANCES DE *FAIDHERBIA ALBIDA* EN PLANTATION AU BURKINA FASO

Taux de survie et vitesse de croissance juvénile dans les zones nord et sud-soudanienne

par Brigitte BASTIDE, généticien forestier, Ministère de la Coopération
et Boukari DIALLO, généticien forestier, IRBET/CNRST

269

PLANTATIONS DE *FAIDHERBIA ALBIDA* AU NORD-CAMEROUN

Essais comparatifs de provenances et associations agroforestières

par Jean-Michel HARMAND, agroforestier, CIRAD-Forêt
Clément Forkong NJITI, agroforestier, IRA
David BRUGIERE, Nicolas JACOTOT, agroforestiers, Ministère de la Coopération
et Régis PELTIER, agroforestier, CIRAD-Forêt

283

PROTECTION DE LA RÉGÉNÉRATION NATURELLE DE *FAIDHERBIA ALBIDA*

Evaluation a posteriori du projet Gao Dosso au Niger

par Pierre MONTAGNE, agroforestier, CIRAD-Forêt/Projet Energie II

297

GESTION DES RESSOURCES GÉNÉTIQUES DE *FAIDHERBIA ALBIDA*

Etude de paramètres de contrôle de flux de gènes intrapopulation

par Martin ZEH-NLO, généticien forestier, université de Dschang
et Hélène I. JOLY, généticien forestier, CIRAD-Forêt

PRODUCTION FRUITIERE ET DEVENIR DES SEMENCES DE *FAIDHERBIA ALBIDA*

La part des insectes spermatophages et du bétail dans la régénération de l'espèce *

par Denis DEPOMMIER, agroforestier, CIRAD-Forêt/IRBET

Faidherbia albida en fructification.

* Une première version de cet article a été présentée au Symposium international ICRAF/IRBET/CILSS/LTC sur « les Parcs agroforestiers des zones semi-arides d'Afrique de l'Ouest », Ouagadougou, 25-27 octobre 1993.

La multiplication sexuée de *Faidherbia albida* est, en Afrique sahélo-soudanienne, inféodée au bétail, principal consommateur des gousses qui mûrissent dès le début de la saison sèche. Pour la plupart des auteurs ayant écrit sur le sujet, la graine à cuticule cireuse, dure et imperméable, attaquée par les sucs digestifs lors du transit intestinal, puis enrobée dans les excréments des animaux, trouverait là les meilleures conditions de sa dissémination et de sa levée de dormance. Les excréments, outre leur rôle fertilisant, assureraient une fonction d'hydrorétention (CTFT, 1988).

L'observation sur le terrain et quelques expérimentations simples montrent que ce déterminisme doit être nuancé et relativisé. De la fructification à la germination, le potentiel de régénération de l'espèce apparaît sujet à de fortes variabilités et contraintes comme on l'a constaté pour les parcs à *Faidherbia albida* de Watinoma.

LE TERROIR DE WATINOMA ET SES PARCS AGROFORESTIERS

• Un petit terroir densément peuplé

Le terroir de Watinoma est situé dans la province du Bam, à 80 km au nord de Ouagadougou, dans la partie septentrionale du plateau central. Il relève climatiquement du domaine nord-soudanien (AUBREVILLE) mais il est marqué, cependant, par un caractère subsahélien. La pluviométrie moyenne annuelle atteint 621 mm pour la décade 1982-1991.

Watinoma est un petit terroir (11 km^2) densément peuplé, comptant près de 130 habitants au km^2. Il est majoritairement composé d'agriculteurs mossis auxquels s'ajoutent quelques familles d'éleveurs peuls, sédentarisés.

L'agriculture de subsistance est à dominante céréalière, à base de mil et sorgho, ces derniers étant souvent associés au niébé (*Vigna unguiculata*).

• Les parcs agroforestiers couvrent la moitié du terroir

La plupart des surfaces cultivées, qui s'étendent sur les deux bassins hydrographiques du terroir et leurs interfluves, sont associées à des arbres plus ou moins dispersés en parcs agroforestiers couvrant près de 50 % du terroir.

Les compositions et distributions floristiques variées des parcs de Watinoma font ressortir la diversité et, de fait, la complexité du milieu observables même au sein des plus petites unités morphopédologiques ou topographiques.

Les parcs à *Faidherbia albida* étudiés sur ce terroir, à travers les divers travaux de D. DEPOMMIER *et al.*, 1991 ; E. JANODET, 1990 et S. OUEDRAOGO, 1990, montrent des faciès bien différenciés en fonction de la toposéquence et des conditions édaphiques, mais aussi des facteurs de gestion des arbres et des contraintes de régénération qui peuvent varier considérablement sur un même site, d'un exploitant à l'autre.

• On distingue deux types de parcs à faidherbia

Ainsi, sur la toposéquence du bassin oriental qui contient la majeure partie des effectifs en faidherbias du terroir, deux types de parc apparaissent distinctement en première analyse (cf. tableau I) :

• ceux des hauts de versant, sur sols cuirassés ou d'altération de cuirasse, à horizon superficiel sablo-gravillonnaire. Jouxtant les habitations, ils couvrent moins d'une centaine d'hectares. En général, bien fumés, ils correspondent aux « champs de case » caractérisés par un microparcellaire (moins d'un quart d'hectare en moyenne) ;

• ceux des bas de versant et bas-fonds les plus étendus, sur sols profonds argilo-limoneux, bien alimentés en eau ou à inondation temporaire. Ici, les « champs de village » sont distribués en parcelles de plus

TABLEAU I

Caractéristiques dendrométriques et d'aménagement de quatre parcs à *Faidherbia albida* étudiés à Watinoma

Parc, position topographique et superficie (ha)	Densité ligneux/ha (C > 0,10) *	Densité *Faidherbia albida*/ha (C > 0,10)	Densité *F. albida*/ha (C < 0,10) **	Distribution des circonférences *Faidherbia albida* (%)				Hauteur moyenne *F. albida* (m)	Surface houppier *F. albida* (m^2) ***	Emondage *F. albida* (%)		Ecorçage *F. albida* (%) 1991-92
				0,1-1 m	1-2 m	2-3 m	> 3 m			1991-92	1992-93	
1 Haut de versant (11)	30	7,1	15	44	46	08	02	07(3)	35(41)	34	46	22
2. Haut de versant (5)	38	10,8	19	63	33	04	00	07(2)	29(27)	25	37	16
Parcs 1 et 2 (16)	33	8,3	18	52	41	06	01	08(3)	37(45)	30	40	19
3. Bas de versant (37)	13	2,4	04	49	23	27	01	09(4)	69(77)	56	62	6
4. Bas de versant (48)	12	2,4	03	35	37	19	09	10(5)	84(98)	51	61	13
Parcs 3 et 4 (85)	12	2,4	03	41	31	23	05	10(4)	77(90)	54	62	10

* Non comptabilisée, la fraction arbustive disposée en haies ou alignements limitrophes parcellaires (circonférence < 0,50 m)
** C < 0,10 m représente la régénération en *Faidherbia albida*, constituée de cépées régulièrement rabattues.
*** Surface moyenne du houppier = sa projection au sol calculée sur les deux diamètres est-ouest et nord-sud.
(x) : écart-type à la moyenne.

grandes dimensions à l'image des peuplements arborés, mieux développés, plus étendus et dans l'ensemble moins denses que sur les hauts de versant. Les sols de bas-fonds, généralement non amendés par les cultivateurs, y ont une meilleure fertilité naturelle. Les rendements en sorgho peuvent être de deux à trois fois supérieurs, indépendamment de l'effet de *Faidherbia albida* sur les cultures, mesuré sur l'ensemble des parcs (D. DEPOMMIER *et al.*, 1992).

Tant sur les parcs des hauts de versant que sur ceux de bas de versant, les cultures sont quasi permanentes. Les jachères, rares, ne durent tout au plus qu'une ou deux saisons.

STRUCTURE ET DYNAMIQUE DES PARCS À *FAIDHERBIA ALBIDA*

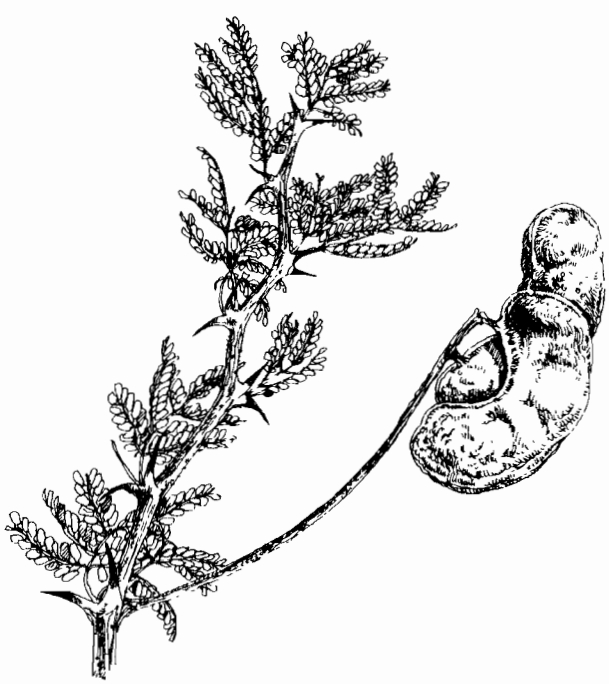
COMPOSITION ET DISTRIBUTION FLORISTIQUE

- **Une grande diversité botanique dans les parcs**

Les parcs à *Faidherbia albida* de Watinoma sont floristiquement composites. La diversité botanique est respectivement représentée sur les hauts et bas de versant par 15 et près de 30 espèces ligneuses accompagnant *Faidherbia albida.*

La dominance de *Faidherbia albida* est d'ailleurs toute relative, liée en partie à une abondante fraction arbustive, surtout sur les hauts de versant. Sur l'effectif total de circonférence > 10 cm, faidherbia représente moins de 25 % sur les quatre parcs, avec beaucoup de disparités au sein même des parcs. *Azadirachta indica, Adansonia digitata* et *Piliostigma reticulatum* sont les espèces associées les plus fréquentes des parcs 1 et 2 ; *Butyrospermum paradoxum, Piliostigma reticulatum et Gardenia ternifolia* le sont pour les parcs 3 et 4, le karité apparaissant groupé.

La composition floristique varie localement au sein d'un même parc en fonction des conditions édaphiques et d'aménagement ; *Mytragina inermis* apparaît ainsi préférentiellement le long des axes de drainage des bas-fonds. Sur les hauts de versant, les manguiers plantés mais aussi les espèces conservées, dont *Faidherbia albida,* ont une répartition des effectifs visiblement liée au parcellaire reflètant les choix d'aménagement passés ou actuels des paysans. Inversement, l'invasion du neem *(Azadirachta indica)* au voisinage du houppier des faidherbias s'impose aux agriculteurs. La substitution du neem au faidherbia par l'entremise des oiseaux granivores apparaît localement bien engagée.



Dessin C SEIGNOBOS

Gousse et rameau de *Faidherbia albida.*

CARACTÉRISTIQUES DENDROMÉTRIQUES ET D'AMÉNAGEMENT DE *FAIDHERBIA ALBIDA*

- **Au sein d'un parc, la densité est très variable**

Ainsi qu'il ressort du tableau I, les parcs des hauts de versant sont trois fois plus denses que ceux des bas de versant. Cependant, sur ces derniers, près du tiers des faidherbias sont des arbres de grandes dimensions (circonférence > 2 m) alors qu'on en trouve très peu sur les hauts de versant.

Comme pour la composition floristique, les densités au sein d'un même parc sont sujettes à de fortes variations. Ainsi, sur le parc 2 (haut de versant), près d'un tiers des faidherbias sont concentrés sur une seule grande parcelle (densité proche de 30), l'exploitant préservant le peuplement hérité de son père. Il en va de même sur le parc 4 des bas de versant avec des

plages de densité de 40 faidherbias à l'hectare groupés en fonction du parcellaire, les arbres y étant ici plus jeunes qu'ailleurs. De mêmes dimensions, ils correspondent souvent à un cycle de génération d'un exploitant.

- **Les arbres éloignés des habitations sont les plus émondés...**

Les arbres des bas de versant, sur les parcs les plus éloignés qui portent les individus les plus développés, sont les plus émondés : chaque année plus de 50 % des effectifs le sont par les éleveurs peuls et les agropasteurs mossis qui les concurrencent. Les arbres sont le plus souvent émondés deux fois dans la saison, le premier émondage étant modéré afin de préserver, voire favoriser la fructification entre le début et le milieu de la saison sèche.

- **...Alors que les arbres de case sont sévèrement écorcés**

Par ailleurs, tous les faidherbias sont écorcés au cours de leur vie, en particulier les arbres les plus proches des habitations. En effet, l'écorce est appréciée en saison sèche et froide pour la fabrication d'un sirop anti-toux.

Finalement, *Faidherbia albida* apparaît à Watinoma remarquablement rustique, capable de se développer dans des conditions écologiques limitantes tout en étant soumis régulièrement à des écorçages et ébranchages souvent traumatisants (plaies et déchirures engendrant des pourritures).

CROISSANCE ET ÂGE DES FAIDHERBIAS

- **L'accroissement des arbres est en général rapide**

L'estimation de l'âge de *Faidherbia albida*, réalisée à partir de 40 carottes de bois tariérées sur le rayon à 1,30 m, montre que la croissance de l'espèce peut être relativement rapide. L'accroissement moyen sur le rayon qui atteint 1,5 cm à 2 cm par an pour les meilleurs sujets est cependant très variable d'un individu à l'autre et d'un site à l'autre (200 à 300 % de variation). Pour la moitié des arbres mesurés, cet accroissement est de 1 cm + ou – 0,2 cm par an, sur les hauts comme sur les bas de versant.

En conséquence, les parcs à faidherbias de Watinoma auraient un âge compris entre 15 et 25 ans, les quelques gros individus (circonférence > 3 m) pouvant avoir environ 50 ans. Il ressort que ces parcs à faidherbias ont un cycle de regénération assez court avec une dynamique de croissance à la fois forte et hétérogène, l'émondage étant l'un des facteurs limitants et variables sans doute importants.

IMPORTANCE ET CONTRAINTES DE RÉGÉNÉRATION

- **Faidherbia rejette de souche et drageonne**

La régénération de *Faidherbia albida* est essentiellement constituée de cépées plus ou moins fournies en brins régulièrement rabattus par les agriculteurs, lors de la préparation des champs. L'excavation de ces cépées montre des appareils racinaires généralement pivotants et puissants mesurant jusqu'à 40 cm de diamètre sous le collet.

Toutefois, une part de la régénération est issue de drageons, distribués à quelques mètres des arbres-mères sur des racines affleurantes. Ceci a été observé sur les sols indurés, superficiels, des hauts de versant mais aussi, localement, sur les bas de versant en zone inondable, où la nappe d'eau subaffleurante induit des développements racinaires superficiels.

Certains drageons excavés présentent les traces d'un affranchissement de la racine-mère ayant pour origine un coup de houe. Il est cependant difficile de fixer l'importance de cette régénération végétative liée ou affranchie, observable à la faveur de l'érosion.

- **Les semis sont rares et irréguliers**

Outre les cépées et drageons, susceptibles de constituer des baliveaux vigoureux si les brins sélectionnés sont protégés deux à trois ans, de jeunes semis apparaissent chaque année mais en très petit nombre et fort irrégulièrement distribués d'un parc à l'autre.

Le port en baïonnette, caractéristique des rares semis subsistant en saison sèche, montre l'impact exercé par le fer de la houe ou la dent du bétail sur les jeunes plants lorsque ceux-ci n'ont pas été définitivement arrachés par l'homme ou le bétail. Les contraintes édaphiques et climatiques, en particulier l'inondation temporaire sur bas-fonds et les dessèchements sur les hauts de versant, sont des contraintes supplémentaires à cette régénération sexuée.

De fait, actuellement, l'élimination ou la dégradation de la régénération de faidherbia, quelle qu'en soit son origine, compromettent le devenir des parcs. Pour le moins elles diffèrent sérieusement leur renouvellement, affectant à terme les distributions floristiques et dendrométriques.

Bien que chacun reconnaisse à Watinoma l'intérêt agronomique et fourrager du faidherbia, on peut se demander effectivement si l'espèce « n'est au mieux que tolérée par les paysans » (S. OUEDRAOGO, D. ALEXANDRE, 1993).

PRODUCTION FRUITIÈRE ET QUALITÉ SEMENCIÈRE DE *FAIDHERBIA ALBIDA*

MÉTHODE DE RÉCOLTE

Sur deux des quatre peuplements de *Faidherbia albida,* en haut et en bas de versant, des récoltes totales de fruits ont été réalisées pendant deux années successives sur dix semenciers adultes de circonférence équivalente, proche de 2 m.

A chaque début de saison sèche, les arbres ont été clôturés sur un périmètre dépassant la circonférence de leur houppier afin de limiter toute perte de fruit tombant au sol. Un passage quotidien fut effectué dans chaque enclos de décembre à mars, les derniers fruits étant gaulés sur les semenciers.

PRODUCTION FRUITIÈRE

- **Une fructification très irrégulière...**

Les mesures faites sur les gousses et leurs semences montrent (cf. tableau II) :

- de médiocres à très faibles productions de fruits, variant considérablement d'un semencier à l'autre et d'un site à l'autre : de 1,9 à 22,8 kg en 1991-1992 sur les bas de versant contre seulement 0,1 à 1,3 kg sur les hauts de versant ;

Les productions de gousses de *Faidherbia albida,* données dans la littérature, sont souvent calculées sur de grands arbres isolés et non élagués.

- une forte variabilité interannuelle de cette production : ainsi les semenciers n° 2 et n° 5 des bas de versant ont-ils produit 2,8 et 22,8 kg de fruits en 1992 mais 11,7 et 0,3 kg en 1993, le meilleur producteur devenant le moins bon l'année suivante.

- **... En partie liée à l'émondage et à la pluviométrie**

On notera que, d'une saison sèche à l'autre et d'un arbre à l'autre, la surface des houppiers varie considérablement du fait des émondages, plus intenses sur les bas de versant. Globalement, cette surface augmente rapidement entre deux coupes, mais elle peut être réduite à sa dimension initiale comme il ressort de la mesure de certains arbres alors que les autres subiront des réductions identiques en fin de saison sèche, voire l'année suivante.

D'une saison sèche à l'autre, les variables mesurées sur les gousses et graines ont des valeurs significativement différenciées (cf. tableau II) :

- production fruitière chutant en moyenne de 50 à 300 % respectivement sur les bas et les hauts de versant ;

- nombre de graines par 100 g de gousses variant dans le même sens de 30 à 40 % ;

- pourcentage de graines n'ayant pas été attaquées par les insectes, passant d'environ 60 % à 45 % tous parcs confondus.

Cette baisse à la fois quantitative et qualitative peut être mise en parallèle avec le déficit pluviométrique de 20 % du total 1991 en 1992 * ; mais elle est vraisemblablement liée à l'augmentation du taux d'émondage (plus d'arbres touchés avec plus d'intensité en 1992), ainsi qu'il ressort du suivi de l'émondage des faidherbias réalisé depuis trois ans.

- **Les graines sont attaquées par les insectes...**

Pour ce qui concerne les graines, les perforations sont essentiellement dues à la larve d'un coléoptère de la famille des Bruchidées (*Caryedon sp.).* Ces attaques peuvent toucher la quasi-totalité des fruits et engendrer des perforations sur près de 75 % des graines de certains semenciers, comme ce fut le cas en 1992-1993 sur les bas de versant.

- **... Et par les oiseaux...**

Enfin, il a été constaté en janvier 1993 des attaques sévères et repétées d'oiseaux du genre *Lamprocolius*

* Pluviométrie 91 : 731 mm.
Pluviométrie 92 : 527 mm.

TABLEAU II

Variabilité des productions fruitières, des quantités et des qualités semencières mesurées sur dix *Faidherbia albida* et deux parcs distincts au cours de deux saisons sèches à Watinoma

Parc N°	Arbre N°	Circonférence 1,30 m (m)	Saison sèche 1991-1992				Saison sèche 1992-1993			
			Poids sec des fruits (kg/arbre)	Nombre de graines/100 g gousses	% graines saines *	Surface houppier (m^2)	Poids sec des fruits (kg/arbre)	Nombre de graines/100 g gousses	% graines saines *	Surface houppier (m^2)
1. Haut de versant	2	1,69	0,330	500	62	49	0,143	266	55	53
	3	1,82	0,121	410	52	14	0,290	276	51	41
	4	1,95	0,205	353	55	48	0,071	330	39	79
	17	1,85	0,916	486	64	55	0,183	324	44	146
	26	1,88	1,271	586	59	92	0,344	466	47	95
Moyennes	—	**1,84 (0,1)**	**0,6 (0,5)**	**467 (89)**	**58 (5)**	**52 (25)**	**0,2 (0,1)**	**332 (80)**	**47 (6)**	**83 (41)**
3. Bas de versant	2	1,95	2,784	533	32	133	11,721	339	35	120
	5	1,95	22,812	455	67	153	0,281	371	16	176
	9	1,96	1,895	467	55	133	0,922	549	62	223
	20	2,23	2,065	679	63	98	0,800	370	32	123
	27	2,09	14,106	386	61	168	18,307	313	38	192
Moyennes	—	**2,04 (0,1)**	**8,7 (8,0)**	**504 (111)**	**56 (14)**	**137 (26)**	**6,4 (0,8)**	**388 (93)**	**37 (15)**	**167 (45)**

(x) : écart-type à la moyenne.
* : graines indemmes de perforations d'insectes (*Caryedon sp.*) ; pour les fruits des arbres 9 et 20 attaqués par les oiseaux en 1992-93, le pourcentage est calculé sur les gousses ayant échappé à ces derniers.

(étourneaux ou merles métalliques) sur les gousses immatures (stade aqueux) ayant affecté deux semenciers sur dix. Pour ces deux arbres des hauts de versant (n° 9 et n° 20), 85 à 95 % des fruits avaient été égrainés.

- **... Qui n'épargnent que quelques centaines de graines par arbre**

Finalement, compte tenu des médiocres productions fruitières et des attaques d'insectes et d'oiseaux affectant les semences, le nombre de graines indemmes est relativement faible. Il est en outre très variable :

- Sur les hauts de versant : quelques dizaines à plusieurs milliers de graines d'un semencier à l'autre et d'une saison à l'autre (en moyenne, 200 graines par semencier en 1992-1993).

- Sur les bas de versant : quelques centaines à plusieurs dizaines de milliers de graines d'un semencier à l'autre et selon la saison (en moyenne, 8 000 graines par semencier en 1992-1993).

Déjà à ce stade, avant que les fruits et leurs graines ne soient la proie du bétail, le potentiel séminal apparaît sérieusement affecté ou réduit à néant, selon la saison pour certains semenciers.

RÔLE DU BÉTAIL ET DEVENIR DES SEMENCES DE *FAIDHERBIA ALBIDA*

OBSERVATIONS SUR LA CONSOMMATION DES GOUSSES PAR DIFFÉRENTS TYPES DE BÉTAIL

- **Presque toutes les gousses sont consommées...**

A Watinoma, comme sur d'autres parcs à *Faidherbia albida*, l'observation montre que toutes les gousses qui tombent à terre au cours de la saison sèche sont sans délai consommées par le bétail qui parcourt les parcs. N'échappent au bétail que quelques gousses coincées dans les rameaux épineux des arbres et de rares fructifications tardives enregistrées en saison des pluies.

- **... Surtout par les ovins et les caprins**

D'une façon générale, sur les parcs des hauts comme des bas de versant de Watinoma, ce sont les

petits ruminants, moutons et chèvres, qui sont les plus grands consommateurs de gousses de *Faidherbia albida*. Le seul bruit d'une gousse tombée à terre les fait se précipiter sur celle-ci, avec une rapidité que n'ont pas les bovins.

Le suivi des troupeaux et de leurs déplacements sur parcs au cours de la saison sèche montre, par ailleurs, que chèvres et moutons sont plus nombreux : en moyenne quatre et cinq têtes à l'hectare parcourant les hauts et les bas de versant contre respectivement 0,5 et 2,5 bovins à l'hectare. En conséquence, ce n'est sans doute qu'une faible proportion de gousses qui est consommée par les bovins.

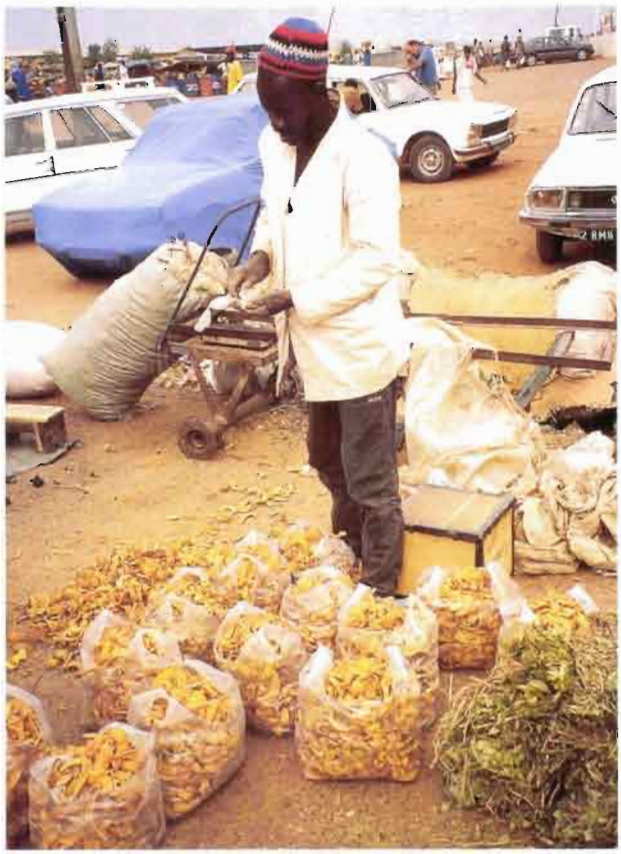
MÉTHODE D'ÉVALUATION DU BROYAGE DES GRAINES PAR LES ANIMAUX

- **On a fait consommer des gousses par des ovins, des caprins et des bovins...**

Afin d'évaluer la quantité et la qualité des graines extraites des fèces des différents animaux, des essais d'alimentation du bétail ont été réalisés avec des ovins, caprins et bovins nourris à l'étable, avec des rations alimentaires à base de gousses de faidherbia de Watinoma, à savoir (cf. tableau III) :

• trois génisses et quatre brebis mises séparément en stabulation sur la station expérimentale de Gampéla de l'IDR *, d'une part ;

* Institut du Développement Rural/Université de Ouagadougou.



De plus en plus de gousses de faidherbia sont récoltées et vendues sur les marchés urbains (ici à Mopti), ce qui réduit encore le nombre de semences dans les terroirs.

TABLEAU III

Pourcentage de graines intactes de *Faidherbia albida* extraites des fèces de bovins, ovins et caprins nourris à l'étable (août 1993)

Données expérimentales	Bovins	Ovins	Caprins
Nombre d'animaux (race)	3 génisses (« zébu peul soudanien »)	4 brebis (« soudanienne »)	4 chèvres (« bariolée du Sahel »)
Quantités de gousses distribuées	rép. 1 : 3 kg/animal rép. 2 : 1 kg/animal	rép. 1 : 2 kg/animal rép. 2 : 1 kg/animal	rép. 1 : 1 kg/animal rép. 2 : 1 kg/animal
Matériel végétal et taux de graines saines	rép. 1 : arbre n° 27 (38 %) rép. 2 : arbre n° 2 (35 %)	rép. 1 : arbre n° 27 (38 %) rép. 2 : arbre n° 2 (35 %)	rép. 1 : arbre n° 27 (61 %) rép. 2 : arbre n° 2 (65 %)
$\frac{\text{Graines saines extraites}}{\text{Graines saines ingérées}}$ = (%)	rép. 1 : 10 ± 3 rép. 2 : 13 ± 5 moy. : 11 ± 4	rép. 1 : 2 ± 0,5 rép. 2 : 1 ± 0,5 moy. : 2 ± 0,5	rép. 1 : 11 ± 2 rép. 2 : 9 ± 2 moy. : 10 ± 2

Rép. : répétition de l'essai successivement dans le temps avec deux lots de fruits venant de deux semenciers de bordure de bas-fond (parc 3).
Moy. : moyenne.
$\frac{\text{Graines saines extraites}}{\text{Graines saines ingérées}}$ = Ratio rapporté au nombre de graines non perforées, évalué à partir du taux de graines saines connu pour chaque lot de fruits ingérés ; moyennes en % assorties de l'écart-type.

• quatre chèvres également nourries à l'étable lors d'un premier essai, d'autre part.

Dans tous les cas, les animaux ont reçu quotidiennement une ration de gousses de faidherbia complétée de granulés de son, d'herbes (bovins et ovins) ou de résidus de cultures (chèvres). Au préalable, une évaluation du pourcentage de graines saines a été faite pour chaque lot de gousses. Pour chaque essai, deux répétitions ont été réalisées successivement avec des lots de gousses d'arbres différents, eu égard aux quantités disponibles mais issus d'un même site (récolte 93).

• **... Puis on a compté les graines dans les fèces**

Les rebuts de gousses ont été pesés, en fin d'expérience, et une évaluation du nombre de graines ingérées a été faite sur la base des quantités de fruits consommées. Les graines extraites des fèces des différents animaux ont été comptées et un ratio du nombre de graines extraites sur le nombre total de graines ingérées (entières et non perforées) a été calculé (cf. tableau III).

RÉSULTATS SUR LE BROYAGE DES GRAINES

• **Les bovins broient moins les graines que les ovins et les caprins**

Il ressort des résultats obtenus que la majorité des graines non perforées ingérées disparaît, broyées et/ou digérées, à 90 % chez les bovins et caprins et à 98 % chez les ovins.

• **... Mais il reste très peu de graines entières...**

En fin de compte, le nombre de graines entières comptées dans les fèces rapporté au nombre total de graines ingérées (saines ou perforées) donne des taux très faibles : 4 à 7 % pour les bovins et caprins et 1 % pour les ovins.

• **... Dont beaucoup germeront en saison sèche ou seront détruites par les termites**

A ce stade, les graines présentes dans les excréments des animaux ne peuvent évidemment pas être considérées comme toutes viables. De plus, une part non négligeable de ces graines est perdue pour la régénération sous forme de :

• germinations « intempestives » : l'observation montre que certaines graines, contenues dans les bouses fraîches des bovins, germent et flétrissent en un ou deux jours pendant que d'autres graines hydratées pourrissent.

• Déprédations faites par les termites : ceux-ci laissent rarement intactes les déjections du bétail qui parcourt les parcs et les graines qu'elles peuvent contenir. La juste part de ce prélèvement apparaît difficile à établir, d'autres insectes ou ravageurs étant vraisemblablement à considérer. Mais il est sans doute important car des collectes de bouse faites en fin de saison sèche sur 80 placettes de 4 m^2, distribuées aléatoirement pour moitié sous les faidherbias et le reste entre ceux-ci, donnent de très faibles quantités de graines extraites comme indiqué dans le tableau IV. On notera ici que les valeurs les plus élevées sont enregistrées sous le houppier des arbres, à l'ombre desquels le bétail stationne en saison sèche.

Enfin, pour évaluer le potentiel de germination des graines extraites des fèces du bétail, des tests de germination ont été réalisés (cf. p. 18).

TABLEAU IV

Quantité de fumier de libre parcours et graines d'arbres extraites des bouses collectées en fin de saison sèche sur parcs des hauts et bas de versant à Watinoma

Parc	Echantillonnage	Poids du fumier sec (kg/ha)		Nombre de graines/ha			
				Graines de faidherbia		Autres graines	
		Sous faidherbia	Hors faidherbia	Sous FA	Hors FA	Sous FA	Hors FA
Haut de versant	20 placettes de 4 m^2 (4 × 1 m^2) sous ou hors faidherbia	496	132	625	500	8 750	3 250
Bas de versant	20 placettes de 4 m^2 (4 × 1 m^2) sous ou hors faidherbia	639	262	1 125	625	9 000	2 625

FA : *Faidherbia albida.*
Autres graines provenant d'autres espèces ligneuses, en cours d'identification

L'EFFET « TRANSIT INTESTINAL » SUR LA GERMINATION DES SEMENCES DE *FAIDHERBIA ALBIDA*

MÉTHODE DES ESSAIS DE GERMINATION

Un essai de germination de semences de *Faidherbia albida* a été mis en place en pépinière, avec deux lots de graines issues des transits intestinaux de bovins, ovins et caprins. Une évaluation comparative des levées a été faite sur une période de 60 jours avec les traitements suivants :

- graines issues du décorticage manuel des fruits (non pilés), semées directement en terre (témoin) ;
- graines issues du décorticage manuel des fruits, trempées 5 minutes dans l'acide sulfurique (66 %), puis lavées et trempées 24 heures dans l'eau avant semis (traitement préconisé par le CNSF * pour la production de plants de *Faidherbia albida ;*
- graines extraites des fèces de bovins, caprins et ovins pendant les essais d'alimentation.

Le dispositif expérimental comptait quatre répétitions (blocs) des dix traitements distribués aléatoirement à raison de 50 graines par traitement.

Les graines étaient semées en lignes en germoirs compartimentés, mis à 1 m du sol sur chassis et recouverts d'une moustiquaire les protégeant des insectes et autres ravageurs.

Le substrat sablo-argileux, prélévé en pépinière et sans apport de fumure, était avant semis désinfecté au Furadan. Un arrosage des semis fut assuré matin et soir au pulvérisateur le temps de l'essai dont les résultats sont représentés par les courbes des figures 1 et 2.

RÉSULTATS DE GERMINATION

- **Les graines extraites des fèces ont une levée assez lente**

Pour les deux lots de graines testées (faidherbias n° 2 et 27 du parc 3 des bas de versant), l'analyse comparative du nombre et de la distribution des germinations au cours du temps montre :

- une levée diffuse des semences issues du transit intestinal des animaux ; elle est dans tous les cas beaucoup moins rapide que celle des graines traitées à l'acide. Les courbes du « transit intestinal » se situent sous celles des traitements « témoins », comme le montre la courbe « des bovins », dont la moitié des levées n'est réalisée qu'après 20 à 30 jours et la quasi-totalité après environ 40 jours ;
- un pourcentage de germinations élevé en fin d'essai, de l'ordre de 80 % pour l'ensemble des traitements peu différenciés.

Bien que la comparaison des moyennes faites sur les deux lots de graines distingue, d'une part, les traitements « acide » et « témoin » (plus de 90 %) et, d'autre part, les traitements « bovins » et « caprins » (près de 75 %), c'est en fin de compte plus la distribution dans le temps des levées que leur nombre final qui caractérise les différences entre traitements.

Enfin, l'origine du lot de graines (semencier) n'a pas d'effet sur la distribution et le nombre des levées.

DISCUSSION ET CONCLUSION

- **Les productions de gousses mesurées sont relativement faibles**

Les résultats obtenus sur les récoltes totales de fruits de dix semenciers, pendant deux années consécutives, montrent que les productions de l'espèce sont très aléatoires et beaucoup plus faibles que certaines productions données par divers auteurs. JUNG (1987) évalue à 125 kg la production de fruits d'un faidherbia au houppier de 230 m^2 sur la station de Bambey au Sénégal. WICKENS (1969), au Soudan, obtient 135 kg sur un arbre adulte.

Mais il est vrai qu'il s'agit, dans les deux cas, d'arbres de très grandes dimensions et vraisemblablement non émondés. A ce propos, LE HOUEROU (1980) donne une estimation de 10 à 20 kg/an de fruits secs par arbre adulte soumis à émondage, ce qui est le cas des faidherbias de Watinoma dont les productions sont plus proches de cette estimation.

* Centre National de Semences Forestières, Ouagadougou, Burkina Faso.

Essai de germination de semences de *Faidherbia albida* en pépinière : pourcentages de levées obtenus au cours du temps pour les prétraitements de graines à l'acide et celles extraites des fèces de bovins, ovins et caprins.

FIGURE 1

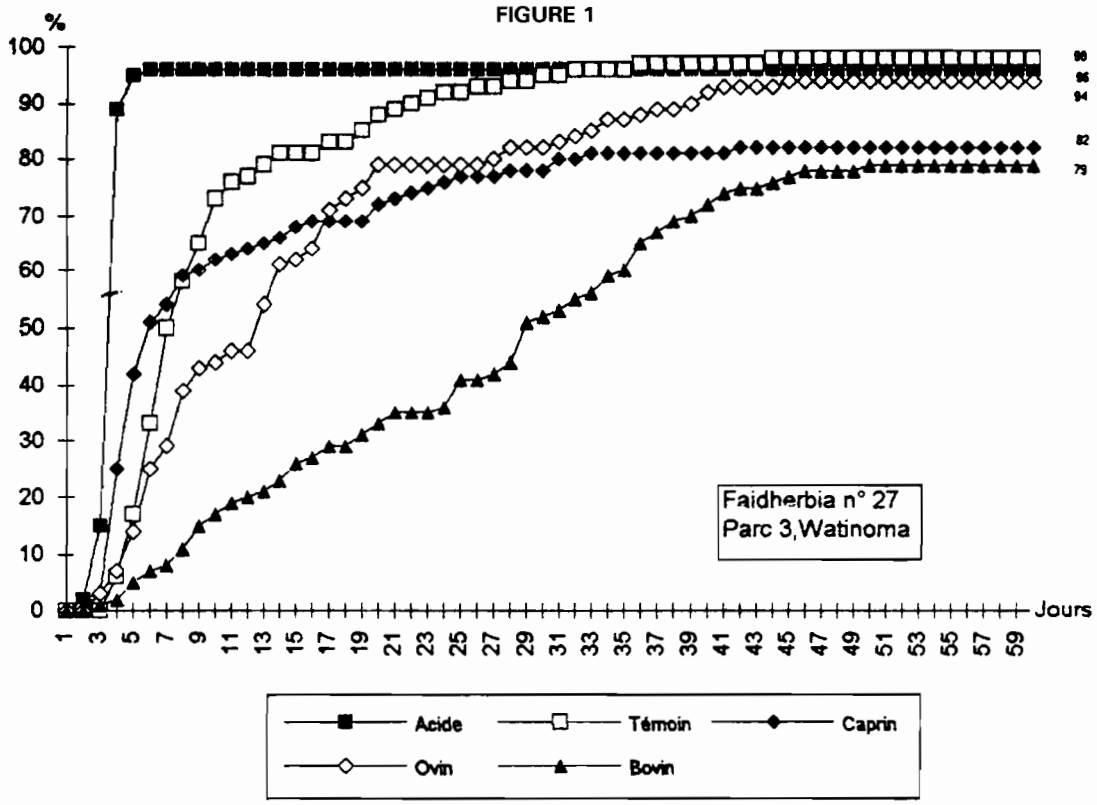
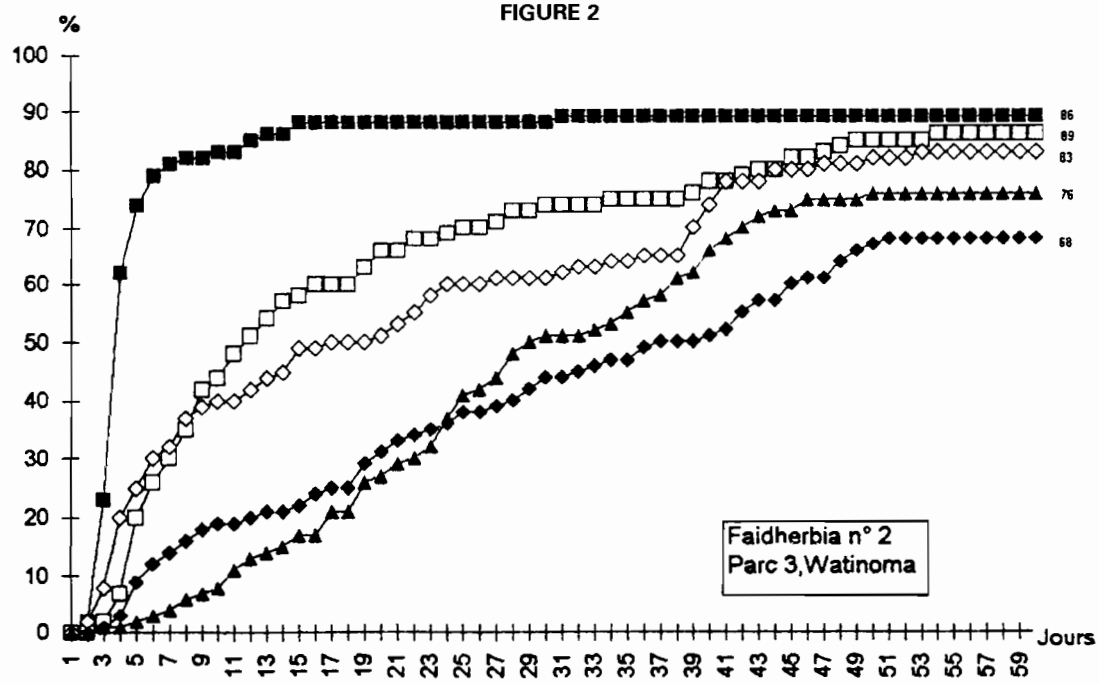


FIGURE 2



L'élagage est très irrégulier et peut varier énormément d'un individu à l'autre, ce qui modifie d'autant la production fruitière.

Si l'émondage repété « hypothèque la production de gousses » selon CISSE et KONE (1991) qui ont travaillé sur les effets de l'émondage, il n'est pas démontré que la production de gousses soit « maximale quand le houppier est large » comme avancé par LEMAITRE (1954). Indépendamment des dimensions du houppier, les productions peuvent certaines années être presque nulles ; c'est ce qui a été observé lors de la fructification de 1992-1993 à Watinoma. De telles variations ont été mesurées au Zimbabwe par DUNHAN (1990) sur quatre faidherbias non émondés et enclos durant huit ans : la production annuelle a ainsi varié pour un individu de 5,4 kg à 290,1 kg. Il importe donc de relativiser l'importance de la production fruitière du faidherbia qui, pour les deux années de mesures réalisées à Watinoma, ne représente que 0,5 à 1 kg de fruits secs à l'hectare sur les hauts de versant et 3 à 5 kg sur les bas de versant. Hormis l'intensité et la fréquence de l'émondage, qui ont une incidence certaine sur la production fruitière du faidherbia, il semblerait que la période de coupe soit un facteur déterminant sur celle-ci ainsi qu'il ressort des premiers résultats d'une enquête sur la gestion de l'arbre par les Peuls.

- **De nombreuses graines sont attaquées par les insectes et les oiseaux...**

Par ailleurs, la production semencière apparaît également quantitativement médiocre et très aléatoire. Toutes les gousses et leurs graines sont attaquées par les insectes, surtout les *Bruchidées* qui font des dégâts considérables. Les taux de graines perforées sont à Watinoma comparables à ceux mesurés au Burkina Faso par divers auteurs. COMPAORE (1992), pour dix populations de cinq arbres étudiés à travers le Burkina Faso, obtient des taux d'attaques des graines variant de 16 à 62 %, sans effet lié au site ni à la récolte des gousses en différents endroits du houppier. Pour KAMBONE (1991), les taux moyens de graines perforées sont de 54 %, plus importants sur les fruits mûrs que sur les fruits verts aqueux (65 contre 36 %). Divers *Bruchidius,* dont *B. auratopubens,* sont les principaux ravageurs de semences de *Faidherbia albida* cités.

A ces attaques, s'en ajoutent d'autres, d'insectes, d'oiseaux et de divers ravageurs granivores entamant le stock séminal et le potentiel de régénération sexuée.

- **... Et la plupart des autres sont broyées par la dent du bétail...**

Dans une seconde étape, le fruit étant à terre, les prélèvements du bétail réduisent considérablement le nombre et la probabilité d'une germination sexuée effective. Les prélèvements sont, à travers l'essai réalisé, sensiblement plus importants que ceux d'autres essais similaires : en Ethiopie, TANNER *et al.* (1990) évaluent à 84 % le taux de graines digérées par des moutons nourris en enclos ; RADWANSKI et WICKENS (1976) indiquent avoir récupéré 66,5 % de graines non digérées dans les excréments d'un boeuf nourri en enclos, au Soudan.

Cependant, le bétail contribue à disséminer les graines qui ont échappé au broyage et à la digestion. L'homme joue également un rôle indirect à ce niveau : en parquant ses animaux sur les champs (contrat passé avec des Peuls pour amender une terre) ou en épandant le fumier collecté en enclos ou fosse fumière, il disperse au sein des parcs d'éventuelles graines dont certaines germeront. Le caractère aléatoire des productions fruitières est de fait amoindri par une large redistribution spatiale des semences, directe par le bétail ou indirecte par l'homme.

Quoi qu'il en soit, ce n'est qu'un très faible pourcentage de graines qui échappe à la dent du bétail, dont une partie ne lèvera jamais pour cause d'attaques fongiques ou parasitaires.

- **... celles qui restent entières dans les fèces ont une durée de germination variable, ce qui augmente la chance de survie des semis**

Pour ce qui concerne l'effet du transit intestinal sur la germination des faidherbias, la levée diffuse dans le temps des graines extraites des fèces du bétail, particulièrement celles de bovins, apparaît comme un avantage dans les conditions climatiques et édaphiques prévalant à Watinoma. Une germination mas-

Bovins et ovins pâturant sous faidherbia en saison sèche.

sive des graines dès la première pluie condamnerait la plupart des semis devant l'erratisme de la distribution pluviométrique ; il n'empêche que les graines extraites des fèces de bétail lèvent à près de 80 % dans leur ensemble. Contrairement à ce qui est souvent rapporté dans la littérature, le transit intestinal n'induit pas, et fort heureusement, d'effet améliorateur sur la vitesse de levée de dormance des graines de *Faidherbia*. L'inverse qui est constaté, et de façon marquée, pour les graines du transit des bovins peut être simplement dû au fait que seules subsistent les graines à cuticule épaisse, les plus résistantes aux sucs digestifs ou au broyat et donc moins aptes à lever rapidement. S'il existe un déterminisme du bétail sur la germination du faidherbia, c'est vraisemblablement à ce niveau là qu'il se situe.

- **En dernière étape, de la fructification à la régénération sexuée de *Faidherbia albida* en parc, le devenir des jeunes semis apparaît très incertain**

En saison des pluies, les deux ou trois sarclages réalisés sur les champs en éliminent le plus grand nombre ; les accidents climatiques ou hydriques survenant au cours de la saison prennent aussi leur tribut (dessèchements des semis par manque de pluie sur les hauts de versant, pourrissements ou déracinements par inondation, ou érosion hydrique, sur les bas-fonds). En saison sèche, dès les récoltes faites, le bétail réoccupe le parc. Il coupe *, arrache ou piétine les rares semis subsistants **.

Seules restent des touffes de rejets résultant des rabattages répétés des cépées aux enracinements généralement puissants et dont l'origine pourrait bien être en grande partie végétative. En effet, il est permis d'avancer cette hypothèse vu, d'une part, le faible nombre et le devenir des semences, ainsi que le très petit nombre de semis survivants et, d'autre part, l'aptitude à drageonner du faidherbia et l'abondance localement observée de drageons. ■

Crédit photos : C. BERNARD, D. DEPOMMIER, R. PELTIER.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CTFT, 1988. — *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. (Synonyme *Acacia albida* Del.), Monographie. Nogent-sur-Marne, France, CTFT, 72 p.

CISSE (M.), KONE (A.), 1992. — Rôle fourrager d'*Acacia albida* Del. Etat des connaissances et perspectives pour les recherches futures. Atelier régional, ICRISAT/ICRAF sur *Faidherbia albida,* Niamey, 22-26 avril 1991. Nairobi, Kenya, ICRAF, VAN DEN BELDT Ed., p. 29-37.

COMPAORE (M.E.), 1992. — Contribution à l'étude des insectes ravageurs des semences de trois espèces ligneuses au Burkina Faso : *Acacia albida, Acacia nilotica* var. *adansonnii, Bauhinia rufescens.* Mémoire IDR/CNRST, Ouagadougou, Burkina Faso, 114 p.

DEPOMMIER (D.), JANODET (E.), OLIVER (R.), 1992. — Etude du parc à *Faidherbia albida* et de son influence sur le sol et la culture du sorgho à Watinoma, Burkina Faso. Atelier régional ICRISAT/ICRAF sur *Faidherbia albida,* Niamey, 22-26- avril 1991. Nairobi, Kenya, ICRAF, VAN DEN BELDT Ed., p. 111-115.

DEPOMMIER (D.), NOUVELLET (Y.), 1992. — Rapport annuel d'activités, campagne 1991-1992. Ouagadougou, Burkina Faso, IRBET/CIRAD-Forêt, 132 p.

DUNHAM (K.M.), 1990. — Fruit production by *Acacia albida* trees in Zambezi riverine woodlands. *In :* Journal of Tropical Ecology 1990, 6 : p. 445-457.

JANODET (E.), 1990. — Les parcs à *Faidherbia albida* sur le terroir de Watinoma (Burkina Faso). Diagnostic préliminaire à la mise en place d'expérimentations. Mémoire DEA, ENGREF/Paris 6, Paris, France, 70 p.

JUNG (G.), 1967. — Influence de l'*Acacia albida* Del. sur la biologie des sols « Dior ». Dakar, Sénégal, ORSTOM, 63 p.

KAMBONE (I.T.), 1991. — Etude de la période d'apparition des attaques d'insectes spermatophages sur les fruits de : *Acacia albida, Acacia nilotica* var. *adansonnii* et *Acacia senegal.* Mémoire ENEF, MET/CNSF, Ouagadougou, Burkina Faso, 90 p.

LE HOUEROU (H.N.), 1980. — Le rôle des ligneux fourragers dans les zones sahélienne et soudanienne. *In :* Symposium

* NdIr. Cependant, tous les pieds coupés par le bétail ne sont pas morts et peuvent repousser au cours de l'année suivante.

** Il ne reste, en début de saison sèche, pratiquement aucun semis de la saison des pluies comme le montrent des inventaires réalisés depuis deux ans sur un échantillonnage de parcelles suivies sur les quatre parcs étudiés.

International sur les fourrages ligneux en Afrique, ILCA, Addis Abéba, 8-12 avril 1980. Addis-Abéba, Ethiopie, ILCA, Le Houérou Ed., p. 85-101.

LEMAITRE (C.), 1954. — Le *Faidherbia albida.* Thèse présentée au concours de Principalat d'Ingénieur S.A. F.O.M., France, 62 p.

OUEDRAOGO (S.), 1990. — Situation et dynamique des parcs agroforestiers de Watinoma en 1990, Province du Bam, Burkina Faso. Mémoire DES, Paris, France, Université Paris VI, 57 p.

OUEDRAOGO (S.), ALEXANDRE (D.), 1991. — Place de *Faidherbia albida* dans le terroir de Watinoma (Burkina Faso). Atelier régional ICRISAT/ICRAF sur *Faidherbia albida,* Niamey, 22-26 avril 1991.Nairobi, Kenya, ICRAF, 16 p.

RADWANSKI (S.), WICKENS (G.E.), 1976. — The Ecology of *Acacia albida* on mantle soils in Zalingei, Jebel Marra, Sudan. *In :* Jal. Appl. Ecol., vol. 4, p. 567-79.

SAWADOGO (E.C.), 1989. — Contribution à l'étude de la phénologie et de la collecte de quelques espèces forestières ligneuses. Mémoire IDR/CNSF, Ouagadougou, Burkina Faso, 104 p.

WICKENS (G.E.), 1969. — A study of *Acacia albida* (Del). (Mimosoideae). Kew Bulletin, vol. 23, n° 2, p. 181-202.

Denis DEPOMMIER
IRBET/CIRAD-Forêt
01 BP 1759
Ouagadougou (Burkina Faso)

RÉSUMÉ

La production fruitière de *Faidherbia albida,* mesurée pendant deux années consécutives à Watinoma sur dix semenciers, apparaît sujette à de fortes variations liées aux facteurs climatique, édaphique, génétique mais aussi anthropique (émondage des arbres). Les récoltes totales de fruits varient ainsi pour le meilleur semencier de près de 23 kg à moins de 300 g d'une année à l'autre. Par ailleurs, la production fruitière et la viabilité semencière peuvent être largement compromises par les attaques d'insectes spermatophages, Bruchidées en particulier, et par d'autres déprédateurs tels que les oiseaux granivores.

Les observations de terrain montrent que pratiquement aucun fruit tombé à terre ou gaulé n'échappe à la dent du bétail qui parcourt les parcs en saison sèche. Aussi, des essais d'alimentation ont été réalisés avec des bovins, des ovins et des caprins afin d'évaluer les quantités de graines contenues dans les fèces. Les résultats obtenus indiquent que la majeure partie des graines saines ingérées sont digérées à près de 90 % par les bovins et caprins et à près de 99 % par les ovins.

De fait, le potentiel de régénération sexuée de l'espèce apparaît très étroit et peut être réduit à néant. Le bétail agit donc négativement sur ce potentiel en réduisant le nombre, mais il favorise qualitativement la régénération de l'espèce par la dissémination des graines dont la levée apparaît diffuse, répondant bien aux conditions écologiques du milieu. Leur devenir reste cependant aléatoire jusqu'à leur levée ; les jeunes semis sont par la suite sujets à de fortes mortalités, la houe de l'agriculteur et la dent du bétail y contribuant pour beaucoup.

Mots-clés : *Faidherbia albida.* Parc arboré. Régénération. Fruit. Viabilité. Semence. Survie des plants. Traitement des semences. Insecte déprédateur des semences. Dissémination des graines.

ABSTRACT

The fruit production of *Faidherbia albida,* measured over two consecutive years at Watinoma in ten seed trees, seems liable to marked variations linked with factors of climate, soil, genetics, and also human intervention (tree trimming and pruning). Total fruit harvests thus vary, in the case of the best seed tree, from almost 23 kg to less than 300 g from one year to the next. Furthermore, fruit production and seed viability can be greatly affected by attacks from spermatophagous insects, in particular the Bruchidae, and by other destructive agents such as granivorous birds.

Field observations show that virtually no fruit that falls to the ground or is beaten from trees will escape the mouths of livestock roaming through parklands in the dry season. As a result, feeding tests have been carried out with cattle, sheep and goats to assess the amounts of seeds contained in their faeces. The findings obtained indicate that most healthy seeds ingested are digested to close on 90 % by cattle and goats, and to almost 99 % by sheep.

The fact is that the sexed regeneration potential of the species seems to be very slight and perhaps even reduced to nothing. Cattle therefore have an adverse effect on this potential, by reducing the numbers, but they qualitatively promote the regeneration of the species by the dissemination of seeds, the germination of which seems to be widespread, thus responding well to the ecological conditions of the environment. Their future development is nevertheless still unpredictable until they spring up ; young seedlings are then liable to high mortality rates, greatly contributed to by the farmer's hoe and the mouths of cattle.

Key words : *Faidherbia albida.* Parkland. Regeneration. Fruit. Viability. Seed. Plant survival. Seed treatment. Seed damaging insects. Seed dispersal.

CROISSANCE DE *FAIDHERBIA ALBIDA* DANS LES PARCS DU BURKINA FASO

Etude des cernes annuels dans la tige et le pivot racinaire

par Denis DEPOMMIER, agroforestier, CIRAD-Forêt/IRBET
et Pierre DETIENNE, anatomiste des bois, CIRAD-Forêt

Récolte d'une carotte de bois à la tarière de Pressler sur un *Faidherbia albida*.

L'origine des parcs à *Faidherbia albida* se perd souvent dans la mémoire des agriculteurs africains, leur construction ayant été progressive. Il est encore plus difficile de déterminer l'âge des différents arbres.

Malgré cette incertitude, beaucoup d'agriculteurs, de développeurs ou même de scientifiques considèrent que la croissance de *Faidherbia albida* en parcs est lente, ce qui les décourage de semer, planter ou sélectionner cet arbre au profit d'espèces exotiques réputées plus performantes. Mais on ne saurait ignorer que les exploitants des parcs à faidherbia, qui traditionnellement ne plantent pas l'espèce, savent sélectionner ses rejets et se satisfont de leur croissance vigoureuse. Il nous a donc semblé nécessaire de vérifier sur le terrain les performances du faidherbia.

Pour ce faire, nous avons mesuré le diamètre de plusieurs dizaines d'arbres dont l'âge a été calculé par un comptage des cernes d'accroissement. Cette méthode est en effet la plus facile et la moins coûteuse pour calculer l'âge des arbres, en particulier pour les espèces qui alternent chaque année une période de croissance et une période de repos végétatif, comme c'est le cas en zone tempérée ou dans les régions de savane.

Grâce à ces données, nous avons pu comparer le fonctionnement et la dynamique des parcs à *Faidherbia albida* des terroirs de Dossi et de Watinoma.

ÉTAT DES CONNAISSANCES

- **Il existait peu de travaux antérieurs sur les études de cernes de *Faidherbia albida***

Les principales évaluations qui font référence dans ce domaine ont été réalisées par A. MARIAUX (1964, 1966 et 1979) par des marquages et prélèvements de cambium, des interprétations de cernes sur rondelles et des mesures sur rubans dendrométriques. Les observations et résultats enregistrés ont montré qu'il existait une forte probabilité d'assimiler un cerne à une année.

« La nature du cerne est assez constamment un aplatissement du contact entre fibres et parenchyme, formant une petite ligne très fine et assez discontinue, mais cependant remarquable, sinon il y a au moins un aplatissement synchrone avec le rythme de feuillaison de *Faidherbia albida*, en saison sèche » (A. MARIAUX, 1979).

Plus récemment, I. D. GOULAY (1990), observant des rondelles de *Faidherbia albida* d'âge connu, a pu déterminer la correspondance entre cernes et années par la présence de cristaux de calcium rhomboïques en longues chaînes dans les cellules de parenchyme terminal.

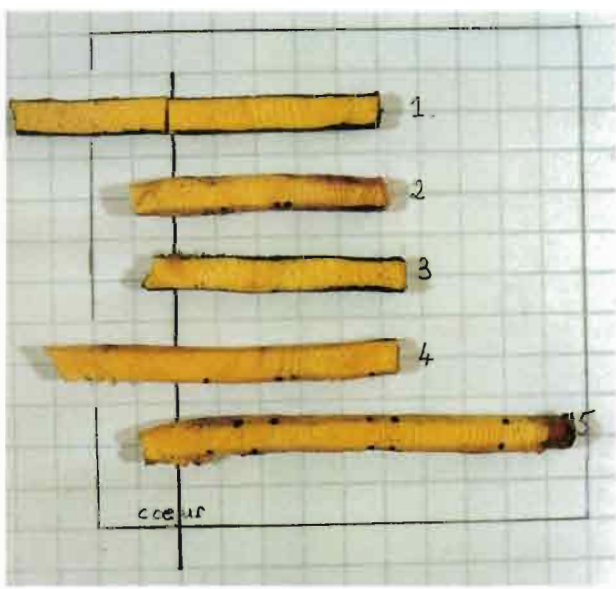
MÉTHODE UTILISÉE

- **La lecture de cernes sur des carottes de bois présente certaines difficultés**

Les limites des cernes annuels sont généralement bien visibles et la datation d'un arbre faite sur la section entière du tronc est relativement aisée. Néanmoins, deux difficultés d'interprétation correcte de certaines variations à allure de limites de cernes ont été rencontrées. L'une est liée à l'étroitesse des échantillons observés (carottes de 4 mm), l'autre est due aux périodes à croissance extrêmement lente, voire nulle certaines années. Ce dernier cas s'est révélé assez fréquent chez les arbres ayant subi au cours de leur vie des dommages graves, tels des écorçages ou d'importants émondages.

- **Il est nécessaire de travailler sur un grand nombre d'arbres**

Ces difficultés ayant été prévues, un nombre important d'individus a été tariéré tant à Dossi qu'à Watinoma afin de disposer d'une quantité suffisante de carottes pour une interprétation convenable des résultats obtenus.



Sur ces « carottes » récoltées à Mouda, Cameroun, sur de jeunes faidherbias d'âge connu, on a délimité par des points noirs les couches de bois possédant les plus gros vaisseaux (bois initial).

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DES PARCS À *FAIDHERBIA ALBIDA* DE DOSSI ET DE WATINOMA

Les terroirs de Dossi et de Watinoma présentent des conditions climatiques (cf. fig. 1a, p. 26), pédologiques et même socio-économiques fort différentes.

DOSSI

- **Sur un terroir soudanien, vaste et moyennement peuplé, coexistent des cultures permanentes sous un parc à *Faidherbia albida* de surface limitée, des cultures itinérantes sous parc à karité et une réserve de brousse**

Dossi, situé dans la province du Houet, à 110 km au nord-est de Bobo-Dioulasso en zone soudanienne, reçoit annuellement 924 mm de pluie (moyenne pour la décade 1981-90).

FIGURE 1a

Principales villes, isohyètes et localisation des sites d'études au Burkina Faso.

Le terroir de Dossi est vaste, couvrant environ 250 km^2 ; la moitié de cette surface est encore en réserve foncière (jachères arborées et savanes plus ou moins boisées). La population qui compte près de 3 400 habitants est essentiellement Bwaba, constituée d'agriculteurs pratiquant pour la plupart la culture attelée (densité : 13,6 habitants/km^2).

Le paysage agraire de Dossi est représenté par deux grands types de parcs agroforestiers :

• d'une part, entre 2 et 12 km du village, le parc à karité (*Butyrospermum paradoxum*) distribué en quartiers de cultures contenant les champs de brousse. Y sont cultivés coton, maïs et sorgho rouge en assolement suivi d'une longue jachère ;

• d'autre part, le parc à *Faidherbia albida* occupant la dépression périphérique et ses piémonts autour du village de Dossi sur près de 350 ha : 1,4 % du terroir et 1 ha de parc pour 10 habitants. Les cultures, dominées par le maïs et le sorgho rouge, y sont faites sur de très petites surfaces régulièrement fumées ; les jachères sont ici rares et brèves. Les sols de ce parc sont dans l'ensemble chimiquement riches, issus de l'altération des roches basiques birimiennes qui bordent en une série de collines la partie occidentale du parc : sols bruns eutrophes, colluvionnaires sur pentes et plus ou moins hydromorphes dans la partie centrale du parc (cf. fig. 1b).

WATINOMA

- **Sur un terroir sahélien densément peuplé, le parc à *Faidherbia albida* est relativement plus étendu mais beaucoup plus hétérogène**

Les conditions naturelles et anthropiques qui prévalent à Watinoma sont beaucoup moins favorables à l'agriculture qu'à Dossi. Situé à 80 km au nord de Ouagadougou, dans la province du Bam, le site de Watinoma présente un caractère subsahélien. La pluviométrie moyenne (1982-1990) atteint 609 mm avec une variabilité interannuelle de 30 à 50 %. Le terroir ne couvre que 11 km^2 mais compte près de 1 500 habitants, soit une densité de 136 habitants par km^2, soit dix fois supérieure à celle de Dossi. La population est essentiellement composée d'agriculteurs mossis. Malgré la petite taille du terroir, l'environnement y est complexe ; les différenciations apparaissent à deux niveaux (J. S. OUEDRAOGO, Y. ALEXANDRE, 1991) :

• d'une part, selon la géomorphologie : entre les bassins ouest et est qui bordent l'escarpement central cuirassé où s'est installé le village ;

• et, d'autre part, en fonction de la toposéquence : les hauts de versant portant une végétation généralement xérophile, distincte de celle des bas-fonds où apparaissent des espèces soudano-guinéennes.

La plupart des espaces cultivés relèvent de systèmes parcs présentant des faciès très variés au gré des toposéquences et selon les bassins (cf. fig. 1c, p. 28). Le parc à *Faidherbia albida,* à la différence de celui de Dossi, apparaît ici hétérogène ; il s'étend principalement sur le bassin ouest, du haut des versants près des habitations (champs de case) au bas des versants et bas-fonds (champs de village). Les effectifs en *Faidherbia albida* y sont souvent irrégulièrement distribués, formant localement des associations très composites parfois dominées par d'autres espèces, contribuant à l'hétérogénéité des parcs tant sur un plan floristique que structural. Les peuplements couvrent en définitive une centaine d'hectares (9 % du terroir ; 1 ha de parc pour 15 habitants), majoritairement distribués le long des bas-fonds du bassin oriental du terroir.

COMPOSITION, STRUCTURE ET DYNAMIQUE DES PARCS À *FAIDHERBIA ALBIDA*

- **Le parc à *Faidherbia albida* de Dossi est presque monospécifique**

Faidherbia albida constitue plus de 80 % de l'effectif ligneux du parc de Dossi sur environ 300 hectares (60 % sur les 340 ha incluant les marges du parc). Le peuplement montre peu de discontinuités dans sa composition, à l'exception de microvergers de manguiers d'installation récente faite à ses dépens et localisée. Les principales espèces accompagnatrices de parc sont : *Lannea microcarpa* (raisinier) et, dans une moindre proportion, *Parkia biglobosa* (néré), *Butyrospermum paradoxum* (karité), *Azadirachta indi-*

FIGURE 1b

Le parc à *Faidherbia albida* de Dossi : situation topographique - distribution de l'espèce transect et parcellaire.

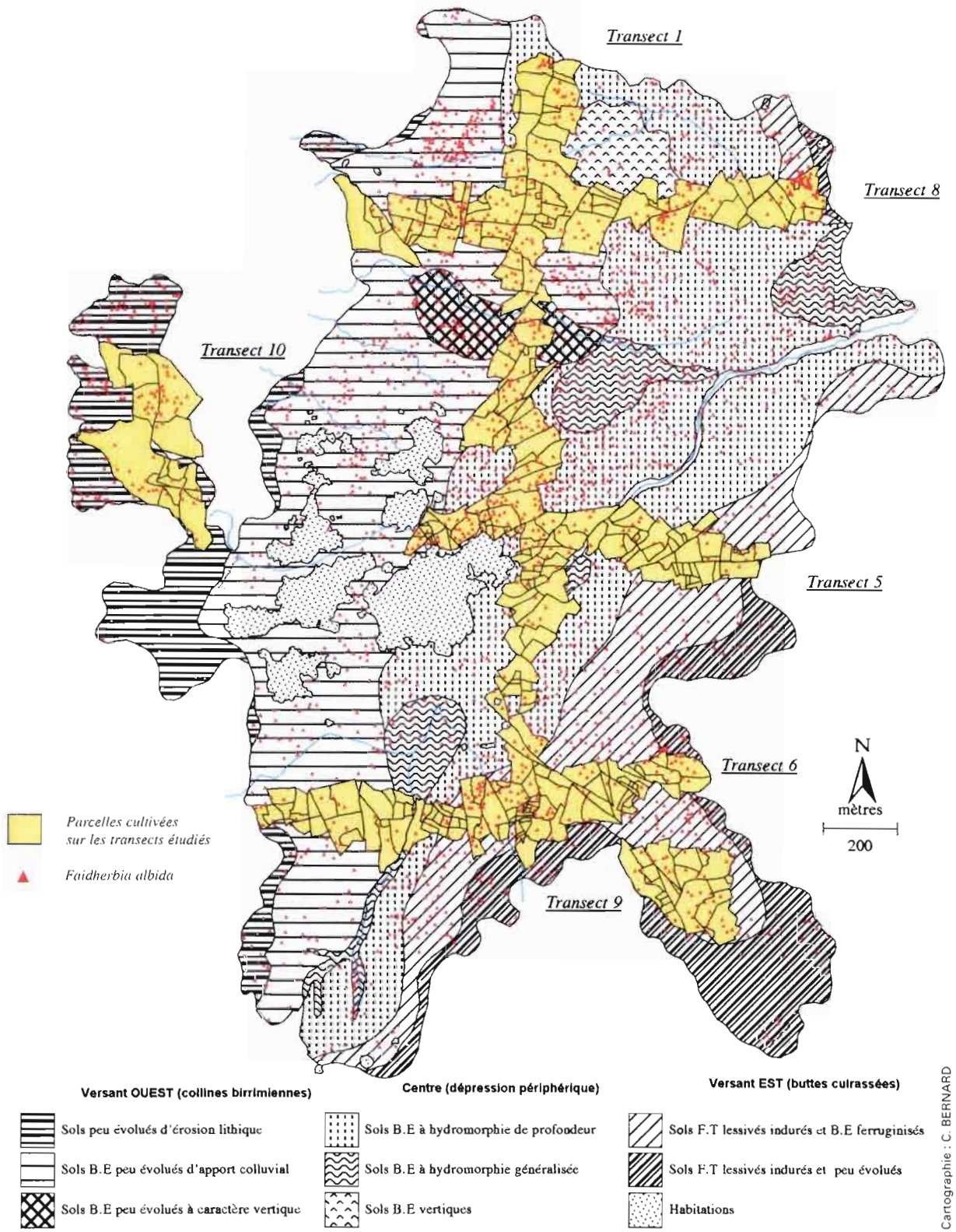
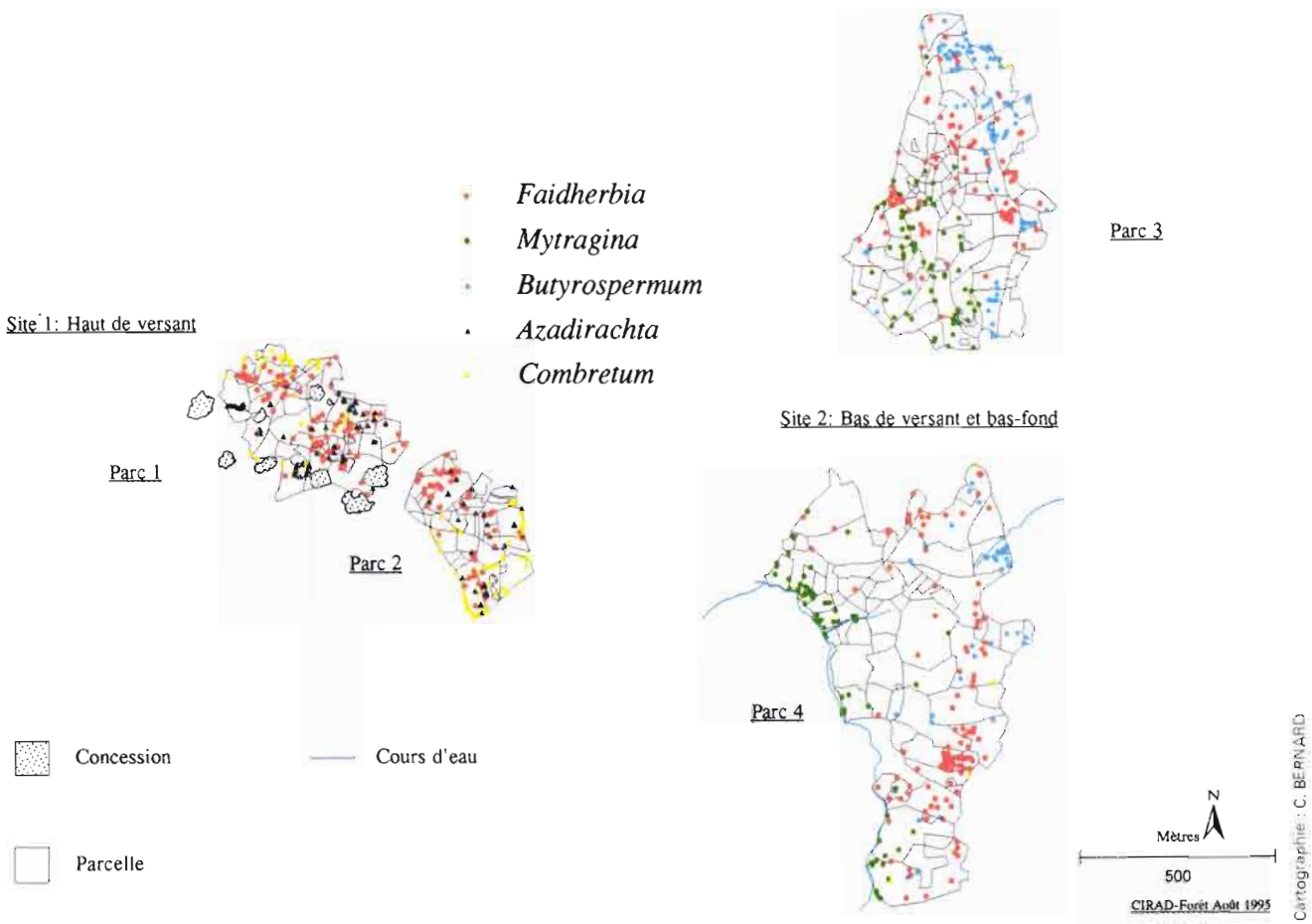


FIGURE 1c

Les parcs de Watinoma : distribution des principales espèces et parcellaire.



ca (neem) et *Ficus gnaphalocarpa*. Karités et nérés apparaissent surtout en périphérie du parc où ils relaient *Faidherbia albida*, alors que *Anogeissus leiocarpus* et *Acacia sieberiana* occupent le bord des ravines et les drains, traversent le parc et réapparaissent ponctuellement sur des jachères.

- **La composition floristique du parc de Watinoma varie avec le milieu physique et humain**

Sur environ 100 hectares de parcs à *Faidherbia albida* de Watinoma, les faciès sont fortement différenciés en fonction du site et de sa topographie mais aussi, au sein d'une même unité agropédologique, de l'aménagement de la composante ligneuse par les paysans.

La dominance de *Faidherbia albida* au sein du peuplement arboré est ici toute relative, variant de 25 à moins de 20 % sur les hauts et bas de versant avec des variations locales pouvant aller du double au triple. Ces parcs, et tout particulièrement ceux de hauts de versant, ont une abondante strate arbustive où dominent *Piliostigma reticulatum, Combretum micranthum et Balanites aegyptiaca*. Ces espèces, pour la plupart saisonnièrement rabattues, occupent préférentiellement une position limitrophe sur le parcellaire.

Sur les hauts de versant, à proximité des habitations, *Azadirachta indica*, localement envahissant, et *Adansonia digitata* (baobab) sont les espèces de la strate arborée les plus communément associées à *Faidherbia albida*.

Sur les bas de versant et les bas-fonds, *Piliostigma reticulatum* et *Gardenia ternifolia* sont le plus souvent associés au *Faidherbia albida*. Le karité peut y être abondant et former de petits peuplements ; *Mitragyna inermis*, espèce commune de ces parcs, occupe les axes de drainage des bas-fonds et leur bordures inondables.

- **Dans les deux parcs, la densité varie entre autres avec la morphopédologie**

A Dossi, la densité moyenne des ligneux est d'environ 9 arbres à l'hectare, dont 6 sont des *Faidherbia albida*. Les densités en *Faidherbia albida* les plus élevées mais aussi les plus régulièrement distribuées ont été relevées entre la dépression centrale du parc et le bas de versant occidental : quasi monospécifique, le peuplement y forme des concentrations de 20 à 30 individus par hectare. Les houppiers de grandes dimensions, et souvent contigus, couvrent par endroit le sol à près de 50 % de sa surface. A l'inverse, les densités sont très faibles sur les sols vertiques ou les plus hydromorphes (3/ha). En périphérie, sur les versants colluviaux de l'ouest et ceux cuirassés ou gravillonnaires de l'est, la densité des *Faidherbia albida* varie respectivement de 7 à 3 individus/ha. Elle n'est que de quatre à cinq pieds à l'hectare sur les hauts de versant orientaux, d'autres espèces apparaissant à la faveur de mise en jachères. Les arbres sont généralement plus petits que ceux situés sur la première couronne jouxtant les quartiers de Dossi.

A Watinoma, la situation est plus contrastée, nuancée par de fortes hétérogénéités tant floristiques que structurales au sein même des parcs. Les hauts de versant sont en général deux à trois fois plus arborés que les bas de versant et les bordures de bas-fond : on y compte, à l'hectare, plus de 30 arbustes et arbres, souvent petits (dont 8 ou 9 *Faidherbia albida*) contre 12 individus (dont 2 ou 3 *Faidherbia albida* seulement, mais certains de très grande taille).

- **L'étude des diamètres suggère le vieillissement ou le rajeunissement des différentes zones...**

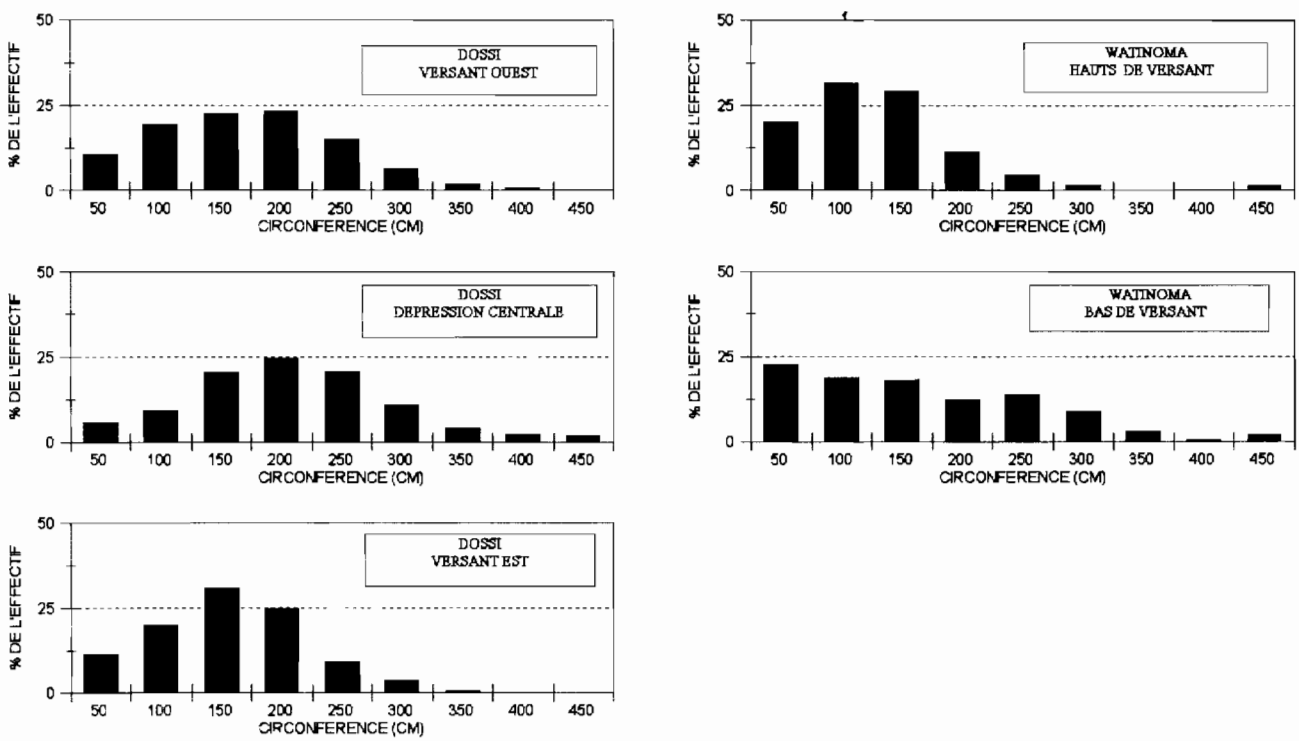
La distribution par classe de circonférence des *Faidherbia albida* de plus de 10 cm (cf. fig. 2 pour les différents sites constitutifs des parcs de Dossi et de Watinoma) fait ressortir :

• une meilleure représentation des classes de plus petites circonférences et donc des individus les plus jeunes, à Watinoma ;

• une faiblesse des effectifs d'arbres adultes sur les hauts de versant à Watinoma par rapport au bas de versant où le peuplement paraît plus vieux ;

FIGURE 2

***Faidherbia albida* à Dossi et Watinoma : classes de circonférence par site.**



• une distribution décalée vers les classes intermédiaires : plus âgées à Dossi où l'effectif des classes jeunes (C < 50 et même C < 100 cm) est faible. Le déséquilibre est net pour le peuplement de la « dépression centrale » où la plupart des grands arbres sont chancreux et parasités. Ces individus seraient très âgés selon les plus vieux agriculteurs qui disent les avoir toujours connus là.

On peut donc considérer, sur la base de ces distributions et des observations sanitaires, que le parc à *Faidherbia albida* de Dossi est vieillissant et que le renouvellement des générations ne paraît pas assuré. Il est de fait que la tendance d'aujourd'hui est à l'élimination quasi systématique des régénérations. Des exceptions sont néanmoins observables sur les parcelles de certains exploitants et, en périphérie, sur les versants du parc.

Les parcs de Watinoma sont en comparaison plus jeunes. L'effectif élevé des plus petits *Faidherbia albida* (C < 100 cm) traduit globalement une meilleure dynamique mais à une échelle plus fine, celle du parcellaire notamment, de fortes disparités existent.

• **... Mais l'émondage répété peut limiter la croissance et fausser les estimations d'âge**

Il est nécessaire de signaler ici que près de 50 % des *Faidherbia albida* sont fortement émondés chaque année à Watinoma. Ils le sont souvent totalement sur les bas de versant et les bordures de bas-fonds, lieux de prédilection des Peuls pour l'affouragement de leurs troupeaux.

A Dossi, par contre, l'émondage n'affecte qu'un quart des arbres et n'est pas sévère. Il est pratiqué par les enfants des agriculteurs pour leurs boeufs de labour.

L'émondage modifie non seulement l'architecture de l'arbre mais aussi son rythme de croissance : il suffit de considérer les individus émondés deux ou trois fois au cours de la saison sèche et les repousses prolongées jusqu'au milieu de la saison des pluies. Cet aspect ne peut être ignoré dans l'interprétation de cernes de croissance mais il est très difficile d'en faire une évaluation.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

CHOIX DES ARBRES À ÉTUDIER

• **Un large échantillonnage des *Faidherbia albida* assure la représentativité écologique et dendrométrique**

Initialement, une centaine d'arbres (50 à Watinoma et 50 à Dossi) ont été choisis, l'échantillonnage étant structuré à deux niveaux en fonction :

• Du facteur site :

— à Watinoma : hauts de versant à sols superficiels gravillonnaires, ferrugineux tropicaux lessivés et bordures de bas-fonds, à sols alluviaux argilo-limoneux plus ou moins hydromorphes ;

— à Dossi, également en fonction de la topographie : sur sols bruns eutrophes, profonds, plus ou moins hydromorphes de la dépression centrale et sur versants ouest et est, respectivement sur sols bruns eutrophes colluvionnaires et sur sols ferrugineux tropicaux lessivés gravillonnaires.

• De la représentativité dendrométrique (par classe de circonférence) des populations des différents sites.

Au sein de chaque site et sur chaque parc, l'échantillonnage fut réalisé d'une manière aussi aléatoire que possible, compte tenu :

• Du bon état sanitaire des arbres.

• De l'architecture équilibrée des arbres (au port droit, au houppier bien développé et peu affecté par l'émondage).

• De leur dispersion spatiale : arbres relativement isolés (sans concurrence immédiate d'autres arbres).

• **Les arbres creux ont dû être éliminés**

Lors des premiers carottages, il est apparu que les arbres les plus gros étaient presque toujours chancreux à coeur ou avaient des zones altérées sur le rayon carotté, malgré une apparence extérieure saine du tronc. Ce phénomène s'est révélé plus fréquent à Dossi qu'à Watinoma. En conséquence, l'échantillonnage initial qui comprenait une classe de grosses circonférences (> 200 cm) a été réduit et la majorité des carottes extraites sur de gros arbres n'a pu être retenue.

La réduction de l'échantillonnage sur les plus gros arbres et l'élimination, à l'interprétation, de carottes douteuses, plus ou moins nécrosées au niveau du coeur ou s'avérant trop excentrées, ont conduit à ne retenir que 78 % des carottes extraites : 44 à Watinoma (20 sur hauts de versant et 24 sur bas de versant) et 34 à Dossi.

Par contre, les arbres de classes inférieures, généralement plus sains et moins affectés par l'écorçage, ont été tariérés en plus grand nombre (près des deux tiers des individus ayant 50 à 150 cm de diamètre). Pour les plus petits, un double échantillonnage du rayon a été réalisé en faisant passer totalement la tarière à travers le tronc (cas des diamètres < 40 cm).

MÉTHODE DE PRÉLÈVEMENT DES CAROTTES DE BOIS

- **Un tariérage manuel à hauteur de poitrine, en période de repos végétatif**

Le carottage des arbres a été réalisé manuellement à la tarière de Pressler (40 cm de longueur, 4 mm de section). Il a été dans l'ensemble très bien accepté par les propriétaires des arbres.

La hauteur de carottage, par principe à 1,30 m, a été souvent modifiée à cause de l'importance de l'écorçage et des réactions cicatricielles visibles sur quasiment tous les adultes et parfois les plus jeunes. L'écorçage étant réalisé, au plus, à hauteur d'homme, un tariérage à moins de 1,30 m de hauteur risquait de traverser des tissus cicatriciels. Cependant le prélèvement n'a jamais été fait très haut pour éviter d'éliminer les premières années de croissance et sous-estimer l'âge de l'arbre. Il est en outre mal aisé de tariérer un arbre à une hauteur supérieure à celle des épaules.

Ces tariérages ont été réalisés, pour la plupart, entre la fin de la saison sèche et la fin de la saison des pluies, soit globalement entre le début de la défeuillaison et la reprise de végétation.

ÉVALUATION DE L'ÂGE PAR ÉTUDE DES CERNES D'ACCROISSEMENT DU BOIS

Malgré un échantillonnage plus faible que prévu des populations d'arbres de chaque terroir et de chaque site, l'effectif était néanmoins suffisamment équilibré pour que soient faites des comparaisons d'âge et de vitesse de croissance des arbres entre les différents sites.

Parc de Watinoma. Mesure et tariérage de *Faidherbia albida* sur parc de haut de versant (sol ferrugineux tropical lessivé gravillonnaire). Circonférence, hauteur et âge estimé : 129 cm, 8,30 m et 18 ans.

Chaque carotte a été rabotée avec une lame de rasoir sous une loupe binoculaire (12 × à 100 ×) et examinée aussitôt. Cette méthode manuelle présentait l'avantage de sentir à la main une certaine résistance de la lame à chaque passage du bois initial d'une année au bois final de l'année antérieure, localisant ainsi avec précision la zone où la limite de l'accroissement annuel devait être recherchée.

Les limites d'accroissement repérées étaient ensuite qualifiées de « certaines » lorsqu'elles étaient indubitablement marquées dans le bois, de « probables » lorsqu'elles étaient moins nettement dessinées ou d'interprétation difficile dans des zones cicatricielles, nécrosées ou situées à proximité d'un noeud. On a, par ailleurs, compté des limites

dites « ajoutées » correspondant à des limites supposées dans le cas de carottages passant à côté de la moelle centrale. Par contre, les carottes passant loin de la moelle (quelques centimètres) ont été éliminées.

- **Un comptage visuel des cernes permet d'évaluer l'âge de la partie aérienne entre une estimation minimale et une maximale...**

On a considéré que l'âge minimal d'un arbre correspondait au nombre des limites d'accroissement « certaines », éventuellement augmenté du nombre des limites « ajoutées ». L'âge maximal était, quant à lui, égal à la somme des nombres de limites « certaines », « ajoutées » et « probables ». Il est possible que de faux cernes aient été comptés parmi les limites « probables » mais, dans la moyenne, les surestimations engendrées ont pu être compensées par des sous-estimations dues à des cernes nuls, donc non comptés, ou aux cernes non vus des jeunes tiges n'ayant pas atteint la hauteur à laquelle a été fait le carottage. En conséquence, l'âge maximal estimé par les limites d'accroissement a été considéré comme l'âge probable de l'arbre.

- **...Et d'en déduire l'accroissement annuel moyen de la tige**

La vitesse de croissance des arbres a été calculée selon le rapport :

$$\frac{\text{Rayon moyen sous écorce}}{\text{Age probable}}$$

Sachant que la largeur d'un cerne est variable selon les rayons chez *Faidherbia albida*, comme chez de nombreuses essences poussant en climat tropical, le rayon moyen sous écorce à été calculé à partir de la circonférence sur écorce diminuée de 4 % (taux d'écorce identique pour les deux terroirs).

ÉTUDE DES APPAREILS RACINAIRES

- **Il est nécessaire d'évaluer l'âge des souches, très probablement supérieur à celui des troncs, par étude de cernes des pivots racinaires**

Parallèlement au tariérage de troncs jeunes et vieux, des observations du système racinaire d'arbres recépés ont été faites dans le but de rechercher des cernes annuels et de pouvoir dater les souches.

A cette fin, 30 cépées, prises aléatoirement au sein des parcs sur les hauts de versant de Watinoma, ont été arrachées, chacune comprenant :

• une partie aérienne formée de 3 à 9 rejets de moins de 5 cm de circonférence à la base. Ces rejets saisonnièrement rabattus dépassent rarement 1 à 2 m de hauteur sauf cas délibéré de furetage, attestant du choix du paysan de conduire un rejet en baliveau ;

• une partie racinaire constituée d'un très gros pivot, généralement plongeant et surmonté au niveau du collet d'un « plateau » racinaire plus ou moins nécrosé portant les marques des rabattages successifs.

L'observation durant quatre ans de l'aptitude de tels systèmes à rejeter régulièrement, malgré des rabattages répétés en saison des pluies et l'abroutissement des rejets en saison sèche, en regard de la dimension des appareils racinaires, laisse supposer un âge élevé.

Aussi, sous chaque « plateau » ou tête racinaire des trente pivots, on a prélevé une rondelle de bois sur laquelle les cernes ont été observés et dénombrés.

Afin de vérifier si le nombre de cernes vu dans le système racinaire était le même que celui des cernes annuels détecté dans le tronc, des comptages de cernes ont été effectués à la fois dans les système aérien et sous-terrain d'arbres d'âge connu.

C'est à Gonsé, près de Ouagadougou, sur deux plantations comparatives de provenances, l'une de huit ans et l'autre de quatre ans, qu'ont été prélevées vingt rondelles au niveau aérien (à 20 cm au-dessus du sol) et au niveau racinaire, sous collet. Ainsi les nombres de cernes ont-ils pu être comparés et rapportés à l'âge réel des arbres, donnant l'échelle nécessaire à l'évaluation des pivots racinaires de Watinoma.

- **Il est possible de faire estimer l'âge des *Faidherbia albida* par les exploitants**

Pour l'ensemble des arbres tariérés, on a demandé aux exploitants d'estimer l'âge des *Faidherbia albida* tariérés de leur parcelle.

Lorsque l'exploitant était trop jeune ou exploitait la parcelle depuis trop peu de temps pour avoir vu le développement de ses arbres du stade juvénile jusqu'à maintenant, on a interrogé l'exploitant précédent, généralement son père.

Devant chaque arbre échantillonné, on a demandé à l'intéressé d'estimer l'âge, même approximativement, et de préciser éventuellement l'aménagement ou les problèmes survenus au cours du développement des arbres.

RÉSULTATS

LECTURE DES CERNES

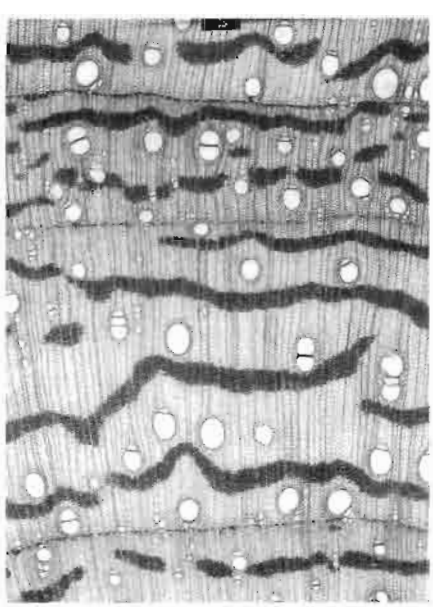
- **Des cernes d'accroissement bien visibles sur la section entière du tronc...**

Plusieurs variations des éléments du plan ligneux ont contribué à la détection des limites d'accroissement, la présence conjuguée de deux ou de plusieurs d'entre elles permettant de définir avec certitude la limite de l'accroissement annuel :

• Fibres à parois plus épaisses et à section plus aplatie dans le bois final ; ce caractère aide la recherche des limites mais ne peut à lui seul qualifier la limite d'une façon sûre.

• Cellules de parenchyme : section aplatie dans le bois final donnant l'impression d'un resserrement de ce tissu. Ce caractère est très fiable ; il est, de plus, particulièrement bien visible lorsque du parenchyme de bois initial succède au parenchyme de bois final. Dans ce cas, peut apparaître une mince ligne sombre de cellules parenchymateuses très aplaties et cristallifères à l'allure d'une fine ligne fibreuse.

• Rectitude du contact parenchyme-fibre : en cours d'accroissement, le parenchyme circumvasculaire (parfois en bande) a un contour toujours un peu sinueux ou onduleux mais, à la limite même de l'accroissement, le contour abaxial tend à être rectiligne et assez bien perpendiculaire aux rayons.



Trois limites, bien visibles, délimitent deux cernes annuels : l'un est large, l'autre étroit, dans le bois d'un jeune *Faidherbia albida* (environ × 20).

• Vaisseaux de plus grand diamètre dans le bois initial : cette variation, pas toujours visible selon les arbres ou les années, ne peut pas à elle seule positionner avec certitude une limite de cerne.

• Fine ligne de parenchyme apparaissant par bribes dans le tissu fibreux ; ce caractère apparemment très fiable n'a été que rarement observé.

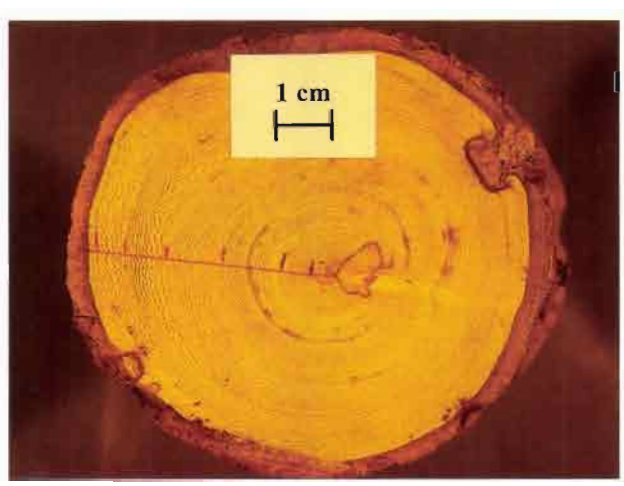
- **...Mais plus incertains sur une carotte de bois**

Si, sur des sections entières de tige, ces variations sont facilement perceptibles et permettent de dater l'arbre avec précision, elles sont beaucoup plus difficiles à distinguer sur des carottes de sondage sèches dont le diamètre, c'est-à-dire la longueur sur laquelle chaque limite est observable, est de l'ordre de 3 mm. A cette gêne due à l'étroitesse de l'échantillon s'ajoutent parfois des difficultés d'interprétation, dues aux cicatrisations de petites blessures de quelques millimètres, de taches médullaires de 1 ou 2 mm, ainsi qu'à la présence ou encore à la proximité d'un noeud et, surtout, à des nécroses.

ÉVALUATION DE L'ÂGE EN FONCTION DE LA CIRCONFÉRENCE

- **La circonférence permet une estimation imparfaite de l'âge**

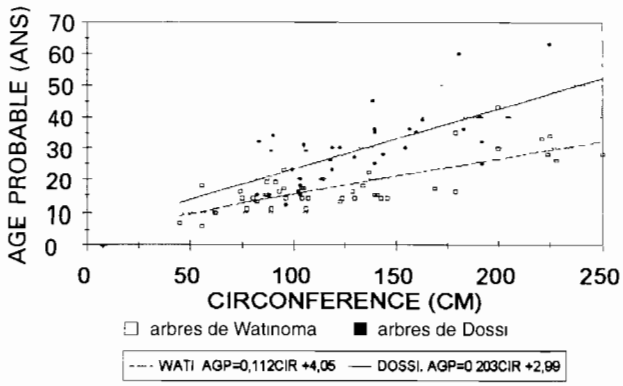
La figure 3, p. 34, donne les droites de régression de l'âge probable (AGP) déterminé sur les carottes en fonction de la circonférence (CIR) pour les 78 arbres des peuplements de Dossi et Watinoma.



Identification des limites de cernes annuels sur une section de tronc d'un jeune faidherbia.

FIGURE 3

***Faidherbia albida* à Dossi et à Watinoma : régressions âge/circonférence.**



Le modèle d'équation des différentes régressions obtenues est de la forme :

$$AGP\ (ans) = a\ CIR\ (cm) + b$$

Pour les différents sites comptant 34 individus tariérés du parc de Dossi et 44 du parc de Watinoma (N), six équations ont été déterminées qui sont données au tableau I.

Pour autant que les résultats de l'analyse de variance soient hautement significatifs, les corrélations sont cependant moyennes ; la circonférence n'explique que 50 à 60 % de la variabilité de l'âge probable.

L'analyse différenciée d'un site à l'autre entre individus de haut et de bas versant, à Watinoma, permet de préciser la relation, consolidée pour les sites de bas versant mais, à l'inverse, moins bien déterminée pour les sites de haut de versant.

A Dossi, la réduction de l'échantillon limite l'analyse du sous-échantillonnage, initialement structuré en fonction des trois principales unités géomorphologiques du parc.

Aussi on a regroupé,

• D'une part, les dix individus du bas de versant ouest et, en aval, dix autres de la dépression centrale, en bordure de son bas-fond ; les sols qui diffèrent ici par leur profondeur ont cependant un même substrat.

• D'autre part, les dix arbres du versant ouest et 14 autres du versant est. Les sols y sont de nature distincte mais s'apparentent par leur profondeur faible à moyenne, par opposition à ceux de la dépression centrale, profonds. La relation apparaît ici la moins bien déterminée. L'apport de variables complémentaires (surface du houppier et hauteur des individus tariérés) ne contribue pas à mieux expliquer l'âge des arbres, ni à améliorer la précision

TABLEAU I

Equations de regressions de l'âge probable de *Faidherbia albida* en fonction de sa circonférence sur les différents sites de Dossi et Watinoma

Parc	Site	N	Equation de régression	R^2	Intervalle de confiance
DOSSI	Global	34	AGP = 0,20 CIR + 3	0,49	a : 0,20 ± 0,07 b : 3 ± 15
	Versant ouest et bordures de bas-fonds	20	AGP = 0,22 CIR + 2,7	0,53	a : 0,22 ± 0,1 b : 2,7 ± 15
	Versant ouest et versant est	24	AGP = 0,19 CIR + 3,5	0,46	a : 0,19 ± 0,1 b : 3,5 ± 14
WATINOMA	Global	44	AGP 0,11 CIR + 4,1	0,58	a : 0,11 ± 0,03 b : 4,1 ± 4
	Bas de versant et bordures de bas-fonds	24	AGP = 0,13 CIR + 3	0,63	a : 0,13 ± 0,04 b : 3 ± 3
	Hauts de versant	20	AGP = 0,07 CIR + 7,5	0,46	a : 0,07 ± 0,04 b : 7,5 ± 4,5

Les intervalles de confiance des paramètres a et b des différentes équations sont donnés pour un risque α = 5 %

des régressions. La prise en compte de ces variables dendrométriques peut apparaître inappropriée dans le cas de *Faidherbia albida* de Watinoma où l'espèce est ordinairement sujette à l'émondage ; cependant les individus tariérés ne présentaient pas ou peu de traces d'émondage récents.

En définitive, l'âge des arbres peut être approximativement évalué en fonction de la circonférence, à 1,30 m du sol par une simple relation linéaire qui s'avère affectée d'une précision meilleure à Watinoma qu'à Dossi (et sensiblement mieux déterminée pour les peuplements des versants). S'il est vraisemblable qu'un plus large échantillonnage aurait amélioré la précision des régressions (en particulier pour différencier les sites ou unités morphopédologiques), il est de fait que la circonférence ne suffit pas à elle seule, dans tous les cas, à dater l'arbre avec une certaine précision.

- **Une croissance élevée des arbres, curieusement plus importante en zone sahélienne**

La circonférence n'explique qu'entre 46 % et 63 % la variabilité de l'âge probable. Pour les parcs de Watinoma et de Dossi, le domaine d'application de la relation entre l'âge et la circonférence intéresse les arbres compris entre 50 et 250 cm de circonférence, qui représentent respectivement 70 et 80 % des effectifs des parcs.

En conséquence, l'application des régressions obtenues pour les parcs de Dossi et de Watinoma donne les estimations d'âge présentées dans le tableau II.

A circonférence égale, les arbres de Dossi (terroir le plus humide et aux sols les plus fertiles *) sont significativement plus âgés que ceux de Watinoma, ce qui équivaut à dire que l'accroissement moyen annuel sur le rayon est supérieur pour les arbres de Watinoma (de l'ordre de 50 % par rapport à Dossi). Cette différence est hautement significative ainsi qu'il en ressort de l'analyse de variance faite sur les accroissements annuels moyens.

- **A Dossi, un parc vieillissant par rapport à celui de Watinoma qui continue de se construire**

A Watinoma où les jeunes arbres et baliveaux sont plus nombreux qu'à Dossi, on peut estimer que plus de 50 % des individus ont entre 10 et 30 ans alors qu'à Dossi, plus de la moitié aurait entre 20 et 50 ans.

Ces estimations d'âge correspondent approximativement à une génération d'homme à Watinoma et à deux générations à Dossi, où le parc a un faciès vieillissant au renouvellement compromis si un plus grand nombre de régénérations ne sont pas conservées dans les années à venir *.

- **L'âge des plus petits et des plus gros *Faidherbia albida* est difficile à évaluer**

Si les régressions obtenues n'ont pu être établies en intégrant les plus gros individus de 3 à plus de 5 m de circonférence (non échantillonnés car tous chancreux), il semble cependant vraisemblable que ces arbres aient environ un siècle à Dossi et 60 à 80 ans à Watinoma.

* Ndlr. Pour des arbres qui puisent l'essentiel de leur eau et de leurs éléments minéraux dans les couches profondes du sol et en particulier dans la nappe phréatique, il convient de relativiser fortement l'impact de la pluviométrie et de la fertilité des couches superficielles du sol. Ces mesures de croissance semblent confirmer que l'optimum écologique de l'espèce se situe en zone subsahélienne, sur des sols où la nappe phréatique est accessible.

* Ndlr. Si l'on se réfère à l'article de C. SEIGNOBOS, p. 153, le parc de Dossi pourrait être considéré comme un parc relictuel hérité d'une époque où les Bwabas ne s'éloignaient pas de leurs massifs refuges ; ce parc serait actuellement négligé par des agriculteurs qui disposent d'une vaste réserve foncière où ils peuvent pratiquer la culture attelée en alternance avec la jachère. Au contraire, le parc de Watinoma, comme ceux des piémonts des Mandara, au Nord-Cameroun, est en pleine construction car la saturation foncière oblige les agriculteurs à intensifier et à fixer leur agriculture en y associant *Faidherbia albida.*

Tableau II
Age probable (ans) de *Faidherbia albida* à Dossi et à Watinoma aux stades jeune, adulte et adulte vieillissant

Circonférence	50 cm	150 cm	250 cm
Age probable à Dossi	13 ± 4 ans	34 ± 11 ans	51 ± 18 ans
Age probable à Watinoma	10 ± 2 ans	21 ± 5 ans	32 ± 8 ans

Pour les arbres les plus jeunes, de 10 cm à 50 cm de circonférence, l'appréciation de l'âge est sujette à de fortes variabilités dans la mesure où les individus sont à ce stade encore très exposés aux rabattages intempestifs des agriculteurs et à l'abroutissement du bétail. De fait, plusieurs années peuvent être escamotées ainsi qu'on a pu l'observer sur des baliveaux conduits sur deux à trois ans à Dossi comme à Watinoma.

Pour cette raison, l'âge des individus évalué à différents stades, entre 50 et 250 cm de circonférence, peut être considéré comme sous-estimé. Aussi, pour toute régression calculée, il apparaît justifié d'ajouter deux années.

ACCROISSEMENT ANNUEL DU RAYON DES TRONCS

- **Malgré des différences entre individus et entre sites, l'accroissement des *Faidherbia albida* est en général rapide**

A l'échelle des sites ou unités morphopédologiques, au sein des parcs de Dossi et de Watinoma, à défaut de n'avoir pu établir des régressions suffisamment déterminées pour chaque cas, on observe toutefois que l'accroissement annuel moyen sur le rayon n'est pas meilleur sur les sites les plus humides et les plus fertiles (cf. tableau III).

La tendance est d'ailleurs inverse pour les trois sites comparés de Dossi, bien que les accroissements moyens annuels respectifs ne soient pas significativement différents.

Ces valeurs moyennes de l'accroissement annuel sur le rayon, mesurées à partir des cernes comptés sur les carottes de bois (cf. fig. 4), montrent que *Faidherbia albida* a une croissance en circonférence relativement rapide, même sur les sites les plus ingrats, la largeur moyenne des cernes de certains individus atteignant 15 ou 17 mm (3,4 cm/an sur le diamètre !) à Watinoma. Cependant une grande variabilité existe entre les individus du même site et il arrive qu'un arbre puisse être deux fois plus âgé que son voisin de même diamètre.

COMPARAISON ENTRE ÂGE DE LA TIGE ET DU PIVOT RACINAIRE

- **Dans les plantations expérimentales, il existe une bonne correspondance entre l'âge connu et le nombre de cernes des tiges et des pivots racinaires**

Sur les deux plantations de *Faidherbia albida* d'âge connu (8 et 5 ans), le nombre de cernes compté dans les tiges et dans les racines est donné dans le tableau IV.

On observe, dans l'ensemble, une bonne correspondance entre l'âge connu et le nombre de cernes comptés tant sur la partie aérienne que sur la partie racinaire *.

* Ndlr. Des observations identiques ont été faites sur un petit nombre d'individus dans la plantation de Mouda, Nord-Cameroun, âgée de dix ans (R. PELTIER, communication personnelle).

Tableau III
Accroissement moyen annuel sur le rayon des *Faidherbia albida* sur les différents sites de Dossi et de Watinoma

	Watinoma tous sites	Watinoma haut de versant	Watinoma bas de versant	Dossi tous sites	Dossi versant est	Dossi versant ouest	Dossi centre
Circonférence moyenne (cm)	125 ± 52	114 ± 45	135 ± 58	134 ± 39	125 ± 32	132 ± 45	154 ± 33
AMR * (mm)	10,9 ± 3	11,2 ± 2,9	10,6 ± 3	7,2 ± 2	7,8 ± 2,1	7,2 ± 2	6,4 ± 1,2
AMR . max. min.	17,1 4,7	17,1 6,3	15,9 4,7	12,3 3,9	12,3 4,0	11,7 3,9	7,9 4,6

* AMR = Accroissement moyen annuel sur le rayon en mm ± écart-type.
= Rayon moyen sous écorce/âge probable.
= Les différences entre les AMR des faidherbias de Dossi et de Watinoma sont hautement significatives. Elles ne le sont pas entre les sites de versant et celui du centre à Dossi ni entre les différents sites de Watinoma.
max. et min. = valeurs maximales et minimales d'AMR.

FIGURE 4

Nombre, disposition des cernes et âges déterminés sur sept échantillons de bois de *Faidherbia albida* prélevés à la tarière de Pressler à Dossi et à Watinoma.

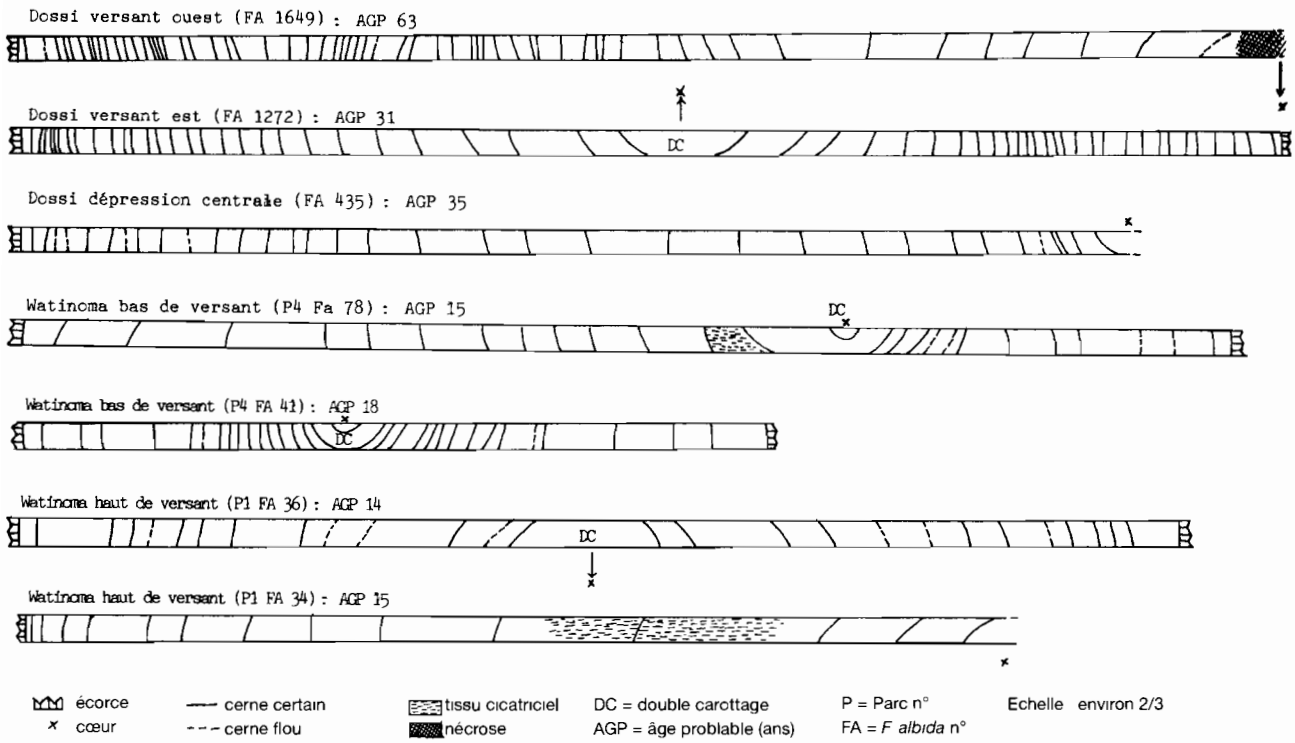


Tableau IV

Circonférences moyennes, nombre de cernes et accroissements annuels moyens sur le rayon des tiges et racines de *Faidherbia albida* prélevées sur plantations expérimentales de Gonsé

Ages des plantations	Nombre d'échantillons	CIR tige	CIR racine	Nombre de cernes sur tige	Nombre de cernes sur racine	AMR tige	AMR racine
8 ans	20	41,1 ± 12,6	26,6 ± 7,3	6,2 ± 0,9	6,1 ± 0,7	0,75 ± 0,23	0,5 ± 0,15
5 ans	20	25,8 ± 1,7	28 ± 1,8	4,8 ± 0,4	4,8 ± 0,4	0,76 ± 0,05	0,86 ± 0,05

CIR : Circonférence en cm, sur écorce, à 5 cm au-dessus et en dessous du collet de chacun des 20 échantillons (ECH).
AMR : Accroissement annuel moyen sur le rayon en cm, sous écorce, mesuré sur rondelles découpées au-dessus et au-dessous du collet.
± : toutes valeurs assorties de l'écart-type

Pour la première série (arbres âgés de 8 ans), la plupart des individus ont un nombre de cernes inférieur d'une à deux unités par rapport à l'âge réel. Ce décalage n'est pas surprenant car les échantillons prélevés présentaient presque tous des attaques d'insectes et des nécroses sur le dernier cerne, voire sur l'avant-dernier et même sur l'antépénultième ; certains individus étaient dépérissants à la coupe et présentaient des racines de faible circonférence au collet. La légère sous-estimation étant ainsi expliquée, la liaison intime entre le nombre de cernes et l'âge de l'individu n'est donc pas remise en cause pour cette série.

Malgré ce léger décalage, dû au mauvais état sanitaire de la plantation la plus âgée, l'intégration des deux séries de données reliant l'âge connu (AGC) et le

Extraction d'une cépée de *Faidherbia albida* sur parc de haut de versant à Watinoma. Noter le pivot racinaire plongeant et son « plateau » d'où partent les rejets régulièrement rabattus. Circonférence sous collet = 30 cm ; âge estimé : 18 ans.

nombre de cernes aériens (NCA) et racinaires (NCR), régression a priori multiple, donne finalement la régression simple suivante, hautement significative :

$$AGC\ (ans) = 1{,}30\ NCR - 0{,}61$$

avec un coefficient de détermination $R^2 = 0{,}57$ et un intervalle de confiance $a = 1{,}30 \pm 0{,}37$ pour un risque $\alpha = 5\ \%$.

- **En milieu rural, où le jeune appareil aérien est coupé de multiples fois, seul le comptage des cernes racinaires peut permettre d'estimer l'âge des cépées**

Le nombre de cernes racinaires pouvant être assimilé à un nombre d'années, un âge probable a donc été déterminé pour les 30 appareils racinaires extraits à Watinoma sur les sites de haut de versant. L'équation de régression, établie sur un échantillonnage réduit à 24 rondelles interprétables (échantillons aux coeurs chancreux ou aux cernes douteux exclus), s'écrit comme suit :

$$AGP\ (ans) = 0{,}44\ CIR\ (mm) + 4{,}6$$

CIR : circonférence sous collet

avec un coefficient de détermination $R^2 = 0{,}70$

et un intervalle de confiance $c = 0{,}44 \pm 0{,}13$ pour un risque $\alpha = 5\ \%$.

L'application de cette régression, assez bien déterminée, donne un âge allant de 9 à 27 ans pour des cépées de circonférence sous collet allant de 10 à 50 cm (moyenne : 14 ans pour 21 cm, avec un coefficient de variation de 21 %).

Sur ces systèmes racinaires, la largeur moyenne des accroissements annuels, calculée sur la base du nombre de cernes et du rayon moyen sous écorce, est faible (en moyenne de 2,3 mm ± 0,5 mm sur les 24 rondelles observées).

Il n'est pas improbable que l'âge (âge ou nombre de cernes vus) ait été sous-estimé car les rabattages de rejets, souvent totaux et fréquents, pourraient être la cause de cernes nuls ou de cernes très minces et difficiles à détecter. Si tel était le cas, la vitesse de croissance aurait été surestimée.

COMPARAISON ENTRE L'ÂGE D'UN FAIDHERBIA ESTIMÉ PAR L'AGRICULTEUR ET CELUI CALCULÉ SUR LES CAROTTES DE SONDAGE

- **Les résulats sont concordants pour les jeunes *Faidherbia albida***

Il est apparu que plus l'arbre était gros, et donc âgé, plus l'estimation devenait incertaine, les repères précis dans le temps étant pour beaucoup difficiles à fixer et ne pouvant être relativisés qu'en fonction d'événements majeurs tels que l'Indépendance, la Révolution ou les décès.

Aussi, pour Dossi, les arbres tariérés étant à la fois plus gros en circonférence et plus âgés d'après l'estimation faite sur tariérage, l'estimation faite par les exploitants de presque tous les arbres s'est avérée très aléatoire dans la mesure où les âges allant de 30 à 90 ans ne faisaient plus référence à leur période d'activité, voire à leur vie-même. On doit en conséquence considérer avec beaucoup de réserve les estimations de Dossi.

En ne retenant pour chacun des parcs que les estimations les plus fiables, l'âge moyen donné aux *Faidherbia albida* par les exploitants serait celui donné au tableau V :

Tableau V
Estimation de l'âge des *Faidherbia albida* tariérés par les exploitants de Dossi et de Watinoma

Parc	Echantillons	CIR (cm)	AGEX (ans)	AGP (ans)
Dossi	18	137 ± 39	53 ± 18	37 ± 12
Watinoma	24	124 ± 49	25 ± 11	22 ± 9

CIR : Circonférence moyenne ± écart-type.
AGEX : Age estimé par les exploitants (moyenne des AGEX) ± écart-type.
AGP : Age probable estimé sur carottes de bois (moyenne des AGP, augmentée de deux ans pour sous-estimation d'âge au stade juvénile) ± écart-type.

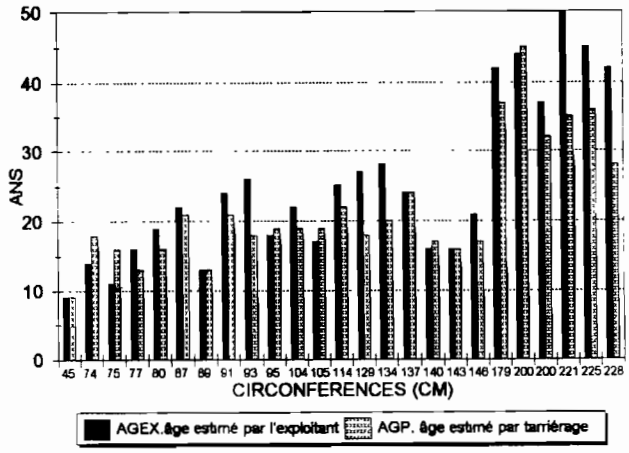
Si les estimations de Dossi sont très incertaines, on observe cependant que, pour l'ensemble des estimations, l'âge donné par tariérage est presque toujours inférieur à celui donné par les exploitants (variation moyenne de l'ordre de 15 % à Watinoma et de près de 50 % à Dossi).

A Watinoma, où les estimations sont acceptables, on note que l'écart est assez faible ainsi qu'il ressort de la figure 5, les équivalences étant totales ou presque à un an près, pour 8 des 24 individus comparés. Inversement, certains individus, bien que jeunes, montrent des écarts de cinq à dix ans dans les estimations comparées.

Les résultats obtenus dans les essais de détermination de l'âge de *Faidherbia albida* doivent être considérés à un double niveau, méthodologique et d'interprétation.

FIGURE 5

***Faidherbia albida* à Watinoma : comparaison des âges estimés.**



DISCUSSION ET CONCLUSION

CHOIX DE LA MÉTHODOLOGIE DE MESURES

- **On ne peut estimer l'âge des arbres qu'avec des individus jeunes dont le tronc n'est pas creux**

D'une part, sur le terrain, il est apparu difficile d'obtenir un nombre suffisant de carottes de bois pour toutes les classes de circonférence représentatives de l'effectif car les plus gros arbres sont très souvent chancreux. L'étude a donc exclu ces arbres les plus âgés, pour lesquels un âge probable d'un siècle à Dossi, et sans doute moins à Watinoma, peut être avancé par extrapolation des régressions obtenues.

- **Sur un sondage, les résultats sont sous-estimés en raison des cernes nuls**

D'autre part, un grand nombre d'échantillons prélevés, au sein des classes de circonférence de 50 à 250 cm, s'est avéré difficilement interprétable pour de multiples raisons : limites floues de cernes, dédoublement possible de cernes, variations de la structure du bois liées à des réactions cicatricielles (écorçages), nécroses, perturbations par des noeuds du bois, nombre de cernes sous-estimé en cas de décentrage du prélèvement par rapport au coeur.

Malgré toutes les précautions prises dans le choix des arbres sur des critères sanitaires externes, il n'est pas possible de s'assurer de la qualité des prélèvements, même sur des arbres jeunes ayant une meilleure aptitude à cicatriser des plaies.

- **Il est donc nécessaire d'effectuer plusieurs sondages par arbres**

Aussi, pour les arbres de cette région, deux, trois, et même quatre sondages par individu seraient nécessaires *. Ces nombreux prélèvements permettraient une datation plus fine, d'où une meilleure estimation de l'accroissement annuel moyen et il serait alors possible de détecter, le cas échéant, des variations de vitesse de croissance durant la vie de l'arbre.

Dans le cas d'un seul sondage par arbre, une sous-estimation de l'âge est possible chez des sujets ayant subi de graves dommages au cours de leur vie (problèmes sanitaires, émondages totaux successifs, par exemple). C'est pourquoi l'âge probable a toujours été assimilé au nombre maximal de cernes observés sur le bois.

* Ndlr. Malgré tout l'intérêt de ce travail de recherche, nous tenons à mettre en garde les jeunes chercheurs contre une utilisation trop large du tariérage des *Faidherbia albida* ; on ignore, en effet, si celui-ci ne risque pas d'entraîner certaines attaques parasitaires, néfastes à la santé des arbres, en particulier pour une espèce qui ne possède pas de défense de type résine, gomme... Si de tels travaux sont entrepris, il faudrait prévoir de reboucher les trous avec du mastic cicatrisant.

INTERPRÉTATION DES DONNÉES

- **L'évaluation de l'âge par la mesure de la circonférence est possible mais reste imprécise**

L'ensemble des résultats montre que la valeur de la circonférence permet d'estimer l'âge de l'arbre mais avec une assez large marge d'erreur, ce qui est normal car les arbres n'ont pas les mêmes conditions de vie même s'ils sont voisins. Le contraire aurait d'ailleurs été surprenant surtout à Watinoma, où la plupart des arbres, jeunes et adultes, subissent des émondages importants et répétés.

- **L'effet de l'émondage sur l'accroissement n'est pas forcément négatif**

Néanmoins, il est très difficile d'estimer l'effet exact de l'émondage sur la croissance de *Faidherbia albida*. Mais, si un arbre émondé sans discontinuité au cours de la saison de végétation, a vraisemblablement une croissance faible à quasi nulle, il n'est pas certain qu'un arbre modérément émondé n'ait pas une meilleure croissance qu'un arbre non émondé. En effet, la plupart des *Faidherbia albida* de Watinoma sont émondés par des pasteurs peuls qui ont un véritable savoir en matière de gestion des arbres fourragers. Ainsi, un *Faidherbia albida* n'est-il en principe que rarement ou faiblement émondé en début de saison sèche mais il peut l'être pour stimuler la fructification et, ultérieurement, la feuillaison en fin de saison sèche, lorsque les besoins des animaux sont au maximum. Les refeuillaisons qui suivent ces émondages, observées sur deux à trois mois au cours de la saison des pluies, prolongent d'autant la croissance des arbres.

D'ailleurs, aux dires de certains pasteurs, un *Faidherbia albida* qui n'est pas régulièrement émondé a une médiocre croissance et dépérit s'il ne l'est plus du tout *.

Ces observations expliquent (au moins pour partie) les différences observées entre les parcs de Watinoma fortement émondés et ceux de Dossi qui le sont peu : à circonférence égale, les arbres de Watinoma ont une croissance significativement plus forte que ceux de Dossi ; le parc de Watinoma, plus soumis à l'émondage, est plus jeune ou plus exactement « juvénilisé », alors que celui de Dossi est vieillissant. Sur ce dernier parc, les classes de jeunes sont déficitaires et l'âge moyen du parc peut être estimé pour plus de 50 % de l'effectif entre 30 et 50 ans contre 15 à 25 ans pour Watinoma.

- **La fiabilité des résultats d'enquête sur l'âge des arbres varie beaucoup d'un village à l'autre**

L'estimation de l'âge des arbres par les exploitants est pour le cas de Watinoma assez proche de celle obtenue par tariérage.

L'écart moyen de deux ans observé est vraisemblablement lié aux accroissements nuls ou très faibles, non identifiables sur les carottes de bois. On peut également faire l'hypothèse que le développement initial des rejets en baliveaux, très aléatoire en raison des rabattages successifs possibles, contribue beaucoup à expliquer les écarts d'âges comparés. Plus de deux ou trois années peuvent échapper à la tarière.

Quant aux estimations d'âge de Dossi, il n'est guère possible de les prendre en compte, à quelques exceptions près. Les chiffres avancés apparaissent très exagérés et largement décalés avec ceux estimés par tariérage. Ces surestimations d'âge, presque toujours données pour les vieux arbres que n'ont pas connu les exploitants, sont aussi faites pour les plus vieux exploitants qui peuvent annoncer un âge de 120 à 130 ans.

Parc de Dossi : culture sous *Faidherbia albida*, sur sols bruns eutrophes. Circonférence, hauteur et âges estimés respectivement : 150 cm, 13,60 m et 35 ans à gauche ; 195 cm, 11,30 m et 45 ans à droite.

* Ndlr. Il faut prendre avec prudence de telles opinions qui heurtent le sens commun. S'il est logique que l'élagage réduise la croissance d'un arbre sain placé en conditions écologiques optimales, il est probable qu'il peut être utile à la survie d'un arbre, pour lequel il est nécessaire de limiter la consommation d'eau (mauvaise adéquation entre le milieu, l'espèce ou la provenance) ou d'un arbre attaqué par des parasites (Laurantacées). Seules des études complémentaires pourraient le déterminer.

- **La croissance de *Faidherbia albida* ne dépend pas seulement de la pluviométrie ni de la fertilité du sol superficiel**

En première analyse, on peut s'étonner que les meilleurs accroissements soient réalisés à Watinoma, en zone subsahélienne, sur sols de médiocre fertilité, et non à Dossi sur des sols plus fertiles et sous une pluviométrie plus abondante

La différence est vraisemblablement liée au fait que l'espèce, feuillée en saison sèche, a une saison de végétation plus longue à Watinoma qu'à Dossi, d'environ deux mois. Cette différence pourrait être consolidée par les effets de l'émondage prolongeant la feuillaison comme précédemment mentionné, et donc la croissance de l'arbre.

Par ailleurs, à Dossi, les variations observées le long des toposéquences font ressortir un accroissement annuel moyen sur le rayon significativement plus élevé pour les arbres des versants.

Dans la partie centrale du parc, les *Faidherbia albida* sont quasi absents sur les sols les plus lourds et hydromorphes alors qu'ils sont encore nombreux et vigoureux sur la cuirasse à peine démantelée qui domine le versant oriental du parc.

A Watinoma, les arbres des hauts de versant n'ont pas d'accroissements moindres que ceux des bas de versant, mieux alimentés en eau.

Finalement, les sites les plus favorables à l'espèce se situent au-delà des zones de crue, mal drainées, et juste en deçà du haut des versants, sur des sols dont l'espèce s'accommode fort bien pour satisfaire ses besoins en eau et croître en saison sèche.

- **Il semble possible d'évaluer l'âge du système racinaire par lecture des cernes du pivot**

L'étude des pivots racinaires, extraits des sites des hauts de versant de Watinoma, s'est avérée délicate à interpréter dans la mesure où il n'existe à ce jour pas de référence en la matière. Il est, par ailleurs, difficile d'obtenir auprès des exploitants une estimation, même très approximative, du nombre d'années de présence dans leurs champs de ces cépées régulièrement rabattues, permettant des comparaisons avec le nombre de cernes comptés.

Les observations faites sur de jeunes tiges d'âge connu provenant de Gonsé ont montré que le nombre des cernes détectés dans le pivot racinaire était le même que celui compté dans les tiges et que, par conséquent, le nombre de cernes lu dans le pivot d'un individu indiquerait son âge. Cependant l'hypothèse selon laquelle il n'y aurait aucune formation de bois certaines années ne doit pas être écartée.

En effet, suite à une coupe de rejets, toutes ou presque toutes les réserves contenues dans les parenchymes de la souche et des racines pourraient être mobilisées pour la formation et la croissance des rejets suivants. Il n'y aurait alors rien ou presque rien pour la croissance en épaisseur des racines, croissance dont l'individu peut sans doute se priver pendant un ou deux ans *.

Inversement, des repousses suivant de fortes coupes pourraient éventuellement engendrer des cernes, sinon de faux cernes qui seraient comptés comme autant d'années.

Selon toute vraisemblance et selon nos propres observations de terrain, en regard de la taille des pivots, certains systèmes racinaires sont sans doute très vieux, beaucoup plus âgés que ne le laisse prévoir la régression mathématique.

- **L'âge des souches est plus élevé que celui des troncs**

Si l'on ne considère que les tiges des individus jeunes ou adultes, le parc de Watinoma est effectivement jeune. Mais si, logiquement, on prend en compte l'âge des souches d'où ils sont issus, ces individus ont au moins 25-30 ans à 60-80 ans, pour des circonférences respectives de 50 et 250 cm.

A Dossi, où le mode de régénération est en partie similaire (le drageonnage étant un autre mode), la même estimation peut être faite sur des pivots superficiellement mis à nus ; un âge moyen de l'ordre de 50 à 60 ans pourrait être donné aux arbres pour lesquels la partie aérienne n'aurait que 30 à 50 ans.

- **La croissance des rejets est bien supérieure à celle des semis et plantations**

Les réserves importantes de tels systèmes racinaires mises à disposition des rejets leur permet, dès qu'ils sont conservés et conduits en baliveaux, de croître très rapidement. Cette croissance est sans commune mesure avec les accroissements relativement plus faibles mesurés sur les plantations expérimentales de *Faidherbia albida*.

Sur parcs, et si telle est la volonté des agriculteurs, les rejets peuvent en quelques années échapper à la

* Ndlr. En l'absence d'observations certaines sur de nombreuses années, il n'est pas possible de savoir si une coupe totale des rejets annule totalement la formation d'un cerne au cours de la période de végétation suivante ou diminue si fortement le diamètre du cerne que celui-ci devient impossible à observer avec les moyens utilisés.

dent du bétail et dépasser la hauteur des mil, sorgho ou maïs qui constituent les principales cultures de ces parcs. ■

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

DEPOMMIER (D.), 1993. — Production fruitière et devenir des semences de *Faidherbia albida*. La part des insectes spermatophages et du bétail dans la régénération de l'espèce sur le parc de Watinoma, Burkina Faso. Com. faite au Symposium Intern. ICRAF/IRBET/CILSS/LTC sur les « Parcs agroforestiers des zones semi-arides d'Afrique de l'Ouest », Ouagadougou, 25-27 oct. 1993. Ouagadougou, Burkina Faso, IRBET, 21 p.

DEPOMMIER (D.), JANODET (E.), OLIVER (R.), 1991. — Les parcs à *Faidherbia albida* et leur influence sur les sols et les cultures à Watinoma, Burkina Faso. *In :* « *Faidherbia albida* in the West African semi-arid tropics » proceedings of a workshop, ICRISAT/ICRAF, Niamey, 22-26 avril 1991. Nairobi, Kenya, ICRAF, p. 111-115.

GOULAY (I.D.), 1990. — Age Determination of African Species. Oxford, Angleterre, Oxford For. Inst, p. 118-122.

MARIAUX (A.), 1964. — Etat actuel des connaissances sur la détermination de l'âge des arbres en Haute-Volta et Niger. Nogent-sur-Marne, France, CTFT, 24 p.

MARIAUX (A.), 1966. — Rapport d'étude Croissance du Kad *(Acacia albida)*. Etude des couches d'accroissement de quelques sections d'arbres provenant du Sénégal. Nogent-sur-Marne, France, CTFT.

MARIAUX (A.), 1970. — Compte-rendu de mission. Etude de la périodicité des cernes, Haute-Volta, Côte-d'Ivoire, Sénégal. Nogent-sur-Marne, France, CTFT, 8 p.

MARIAUX (A.), 1979. — Nature et périodicité des cernes dans les arbres de zone tropicale sèche en Afrique de l'Ouest. Nogent-sur-Marne, France, CTFT, 83 p.

OUEDRAOGO (J.S.), ALEXANDRE (Y.), 1991. — Place de *Faidherbia albida* dans le terroir de Watinoma. Com. faite à l'Atelier « *Faidherbia albida* in the West African Semi-Arid Tropics » ICRISAT/ICRAF, 22-26 avril 1991. Nairobi, Kenya, ICRAF, 11 p.

D. DEPOMMIER
IRBET/CIRAD-Forêt
BP 1759
Ouagadougou (Burkina Faso)

P. DETIENNE
CIRAD-Forêt
Maison de la Technologie
BP 5035
34032 Montpellier CEDEX 1 (France)

Crédit photos D DEPOMMIER, P DETIENNE

RÉSUMÉ

Sur le terroir nord-soudanien de Dossi et sur celui sud-sahélien de Watinoma, un large échantillonnage de *Faidherbia albida* de 50 à 250 cm de circonférence a été tariéré afin d'identifier les cernes annuels sur les carottes de bois extraites, ainsi que pour évaluer l'âge et l'accroissement des arbres.

L'âge probable a pu être corrélé à la circonférence en une régression linéaire, mieux déterminée à Watinoma qu'à Dossi ; cet âge est dépendant des effets de site et vraisemblablement de l'émondage, source de fortes variations sur la croissance des arbres.

Les parcs apparaissent relativement jeunes, 10 à 30 ans à Watinoma et le double à Dossi, avec une estimation par tariérage proche de celle faite par les agriculteurs pour le cas de Watinoma.

Les meilleurs accroissements annuels moyens sur le rayon étant paradoxalement enregistrés sur la station la plus sèche (10,9 mm contre 7,2 mm) les auteurs posent l'hypothèse que la feuillaison, plus étendue en raison d'une plus longue saison sèche à Watinoma, permettrait une meilleure croissance des arbres. De plus, l'émondage de fin de saison sèche et donc une refeuillaison en début de saison des pluies prolongerait cette croissance.

A partir d'une relation établie entre le nombre de cernes des tiges et celui des racines, sur des *Faidherbia albida* d'âge connu, on a pu estimer l'âge de cépées dont les rejets sont régulièrement rabattus à Watinoma. Les prélèvements de rondelles sous collet montrent que de tels systèmes sont âgés : au moins de 9 à 27 ans pour 10 à 50 cm de circonférence. Ils montrent aussi que des rejets conservés peuvent avoir une croissance initiale élevée grâce aux réserves racinaires constituées malgré les rabattages successifs des rejets.

En définitive, les auteurs montrent que l'accroissement de *Faidherbia albida* dans les parcs agroforestiers traditionnels bien gérés et en bonnes conditions de sol et de climat (zone sud-sahélienne, sols bien drainés avec nappe phréatique ni trop, ni pas assez éloignée) peut être très élevé (plus de 3 cm d'accroissement annuel sur le diamètre) et assurer ainsi une production de bois importante qui vient s'ajouter à ses autres avantages agronomiques ou pastoraux.

Mots-clés : *Faidherbia albida*. Age. Cernes. Tariérage. Système racinaire. Agroforesterie. Parc arboré.

ABSTRACT

In the northern Sudanian area of Dossi and the south Sahelian area of Watinoma, a broad sampling of *Faidherbia albida,* with circumferences of between 50-250 cm, has been bored, in order to identify the annual rings on the increment cores removed, as well as to evaluate the age and growth of the trees.

The probable age has been correlated with the circumference in a linear regression which emerges more clearly in the Watinoma area than at Dossi. This age depends on site effects and probably on trimming and pruning, a cause of major variations in tree growth.

The plots seem to be relatively young — 10-30 years at Watinoma and twice that at Dossi —, with an estimate per bore close to that made by farmers in the case of Watinoma.

Because the best average annual growth rates in the sampling are, paradoxically, recorded at the driest station (10.9 mm as opposed to 7.2 mm), the authors put forward the hypothesis that foliation, which is more extensive because of the longer dry season at Watinoma, permits better tree growth. What is more, trimming at the end of the dry season, and consequent refoliation at the beginning of the rainy season, prolong this growth.

Based on a link established between the number of stem rings and the number of root rings, in *Faidherbia albida* specimens with a known age, it has been possible to estimate the age of clumps whose shoots are regularly felled at Watinoma. The samplings of collar rings show that these systems have reached a certain age : at least 9 to 27 years for a circumference of 10-50 cm. They also show that preserved shoots may have a high initial growth rate because of the root reserves formed despite the successive felling of shoots.

The authors show once and for all that the growth of *Faidherbia albida* in traditional agroforestry plots that are well managed under good soil and climatic conditions (in the south-Sahelian zone, in well drained land with the ground water neither too deep nor deep enough) may be very high (more than 3 cm annual diameter growth), and thus guarantees major timber production to be added to its other agronomic and pastoral advantages.

Key words : *Faidherbia albida.* Age. Growth ring. Boring. Root systems. Agroforestry. Parkland.

FAIDHERBIA ALBIDA ET *ACACIA SEYAL* ESSENCES PIONNIÈRES

Régénération dans le bassin du Pondori au Mali en fonction de la morphopédologie et des évolutions climatiques et agraires

par Alain BERTRAND, économiste forestier, CIRAD-Forêt
et † Abou Lamine BERTHE *, ingénieur, D.N.E.F.

Envahissement d'une dépression argileuse par *Acacia seyal.*

* Abou Lamine BERTHE est décédé en avril 1994.

L'espèce *Faidherbia albida* est généralement présentée comme étant difficile à installer et nécessitant des soins attentifs pour pouvoir se développer. De même, le fait de dire que la sécheresse et le surpâturage font reculer la végétation ligneuse constitue un lieu commun très généralement admis.

Or, les auteurs de cet article ont travaillé dans le bassin du Pondori au Mali où ils ont constaté que deux espèces ligneuses (*Faidherbia albida* et *Acacia seyal*) étaient en train d'envahir des zones autrefois cultivées.

En s'appuyant sur des enquêtes auprès des utilisateurs et sur des observations informelles de terrain, ils tentent d'expliquer un phénomène en apparence paradoxal : la sécheresse et le pâturage auraient favorisé le semis et le développement de ces ligneux !

Ils ouvrent ainsi des pistes pour expliquer la formation de forêts ou de parcs arborés presque équiennes, dont l'origine serait liée à un accident climatique ayant perturbé provisoirement le régime hydrique et/ou l'utilisation pastorale ou agricole d'une zone. Dans certains cas, des agropasteurs auraient ainsi l'opportunité de créer un parc arboré avec peu d'efforts et en très peu de temps, à condition que l'environnement socio-économique s'y prête.

LA RÉGION DU PONDORI

La zone d'étude qui comporte le Pondori et ses alentours se situe entre 13°40′ et 14°15′ de latitude nord et entre 4°14′ et 4°52′ de longitude ouest, autrement dit entre les fleuves Niger au nord et Bani au sud et à l'est. D'une superficie de 1 200 km^2, elle couvre en partie les régions administratives ci-après :

- Région de Mopti, cercle de Djenné, arrondissements de Djenné, Mounia, Konio et Taga (3/4 de la surface totale).

- Région de Ségou, cercle de Tominian, arrondissement de Timissa.

Dans le Pondori, on peut distinguer cinq types de situations physiques :

- Une cuvette inondable qui est la plaine du Pondori.

- Les abords immédiats au sud du Pondori, qui ne sont plus inondables et qui représentent une zone de transition.

- Le littoral du fleuve Bani.

- Une zone sableuse de culture au nord.

- La zone de glacis et de basses collines couvertes d'une carapace latéritique à l'est.

LA ZONE INONDÉE ET LA CRISE DE LA RIZICULTURE DE DÉCRUE

- **Un milieu vivifié par les crues annuelles...**

Comme dans tout le delta intérieur du Niger, la crue et l'inondation sont deux éléments essentiels de structuration du milieu dans le Pondori. Par delà le rythme de la pluie, elles scandent le temps annuel en deux périodes radicalement distinctes : celle où il y a de l'eau partout et où il est difficile de circuler ; celle où il n'y a plus d'eau, sauf dans quelques mares permanentes, et où il est facile de circuler sur ces plaines plates et vides.

Dès l'arrivée des pluies, les difficultés de circulation sont considérables et certains villages ou hameaux sont isolés pour de longs mois : il est impossible de les rejoindre par voiture ou charrette, par contre on peut toujours y accéder à pied. Lorsque l'« hivernage » est bien installé, il est possible de circuler en pirogue sur l'essentiel de la zone inondable.

Avec la riziculture, la pêche, la transhumance du bétail et la gestion des pâturages de décrue (bourgoutières), les populations se sont adaptées de façon remarquable à ce milieu très particulier et ont mis au point des systèmes agraires complexes et efficaces : il suffit de noter que la Dyna * reste la régle de base des relations sociales entre les diverses populations qui vivent ou passent au cours de l'année dans le Pondori comme dans le reste de la zone du delta.

- **...Et déstabilisé par la sécheresse**

La période de sécheresse, qui a débuté en 1974, a considérablement aggravé et révélé la crise structurelle de cette région restée largement à l'écart des

* Dyna : la loi édictée par Sekou AMADOU après la conquête de Djenné en 1818 pour régler les conflits fonciers et de toute nature entre les pasteurs peuls et les populations sédentaires de la zone du delta. Malgré de multiples remises en causes partielles, la Dyna reste la règle qui régit la gestion actuelle des pâturages et des espaces du delta.

Sur des levées sableuses, les Bambara cultivent le mil parfois associé au faidherbia. L'existence de ces semenciers a permis la colonisation des zones basses.

axes routiers et des transformations du milieu rural opérées plus au sud. La baisse du niveau de l'inondation, qui n'a pas retrouvé ses niveaux d'avant 1974, a réduit considérablement les superficies inondées et rendu la pratique de la riziculture de décrue impossible sur des surfaces importantes. Ces espaces que les agriculteurs ont dû (temporairement, ils l'espèrent encore) abandonner sont de nouveau colonisés par la végétation naturelle *. Cette colonisation a d'ailleurs pris des formes différentes selon les zones considérées que nous allons analyser ici.

DIVERSITÉ ETHNIQUE ET COMPLEXITÉ DES SYSTÈMES AGRAIRES

• **Des groupes nombreux...**

Très anciennement habitée **, la zone a toujours attiré par la richesse de ses ressources naturelles (pâturages, pêcheries, terres fertiles) une diversité de populations.

Les principaux groupes ethniques qui s'y côtoient sont :

• Les Bozo, considérés comme les premiers occupants de la zone.

• Les Marka, qui peuplent toutes les agglomérations à l'intérieur de la cuvette.

• Les Bambara, dans les villages en bordure sud et est de la plaine.

• Les Peuls, plutôt localisés au nord.

Ce « compartimentage » ethnique reflète aussi bien le processus de peuplement de la zone que le lien particulier et singulier qui unit chacun des groupes ethniques aux éléments d'un sous-ensemble naturel donné.

• **... Aux activités historiquement spécialisées**

Les Bozo sont des pêcheurs professionnels habitant généralement les plaines inondées où ils forment de petites communautés mobiles, qui s'installent le long des bras secondaires des fleuves ou sur les îlots isolés au milieu de la savane inondée. Les Bozo se déplacent régulièrement à la recherche de zones de concentration des poissons, qui sont fonction aussi bien du relief des pêcheries que des mouvements de la crue et de la décrue des cours d'eau. Ayant eu pour ancêtres des pêcheurs et des chasseurs, ils disposent d'une panoplie complète d'outils et de techniques de pêche adaptés aux conditions des plaines marécageuses.

Après les Bozo, les Marka (appelés localement Nono) sont considérés comme les plus anciens occupants de la zone ; le Pondori initial représente leur écotype propre. Installés sur les îlots étroits très densément peuplés, ils ont développé dans toute la zone une riziculture traditionnelle à laquelle ils associent la pratique d'une petite pêche, qui fait appel aux techniques des Bozo les plus simples, et la cueillette de nénuphars abondants dans ces plaines. Les Marka sont également considérés comme les fondateurs des plus grandes cités urbaines de la région (Dia, Djenné...) qui se sont appuyées sur le développement du commerce, la propagation de la science islamique et l'organisation de chefferies politiques locales.

Les Bambara, par contre, sont généralement installés à l'amont des levées alluviales, au sein des zones boisées, exondées, à quelques kilomètres des rivages d'inondation. Sur ces levées, les villages sont le plus souvent établis au bord de certaines défluences sableuses particulièrement propices à la culture du mil. Les Bambara sont surtout spécialisés dans les cultures sèches (mil, sorgho, niébé, voandzou). La proximité de la zone d'inondation assure surtout l'accès facile à l'eau toute l'année.

Les Peuls, à l'origine, avaient un mode de vie essentiellement pastoral et nomade. Sédentarisés, seulement depuis le XIX^{e} siècle, les villages peuls sont localisés en bordure des plaines inondables sur les anciennes dunes de sable au nord et à l'ouest de la cuvette. Cette position en zone exondée, plus élevée que les levées alluviales et à proximité de la cuvette

* Il paraît paradoxal que la sécheresse ait eu pour conséquence un accroissement spectaculaire du couvert arboré ; c'est pourtant ce qui s'est passé dans le Pondori.

** Découverte de vestiges d'une cité de l'ère préchrétienne, Djenné-Djeno, à 1 km environ au sud de Djenné.

profonde, permet l'accès facile aux excellents pâturages (le bourgou) pour le cheptel en période de décrue et pendant la saison sèche.

De fait, de par son origine ethnique, chaque homme de la zone est spécialiste d'un système de production : le Bozo est pêcheur, le Marka riziculteur, le Bambara miliculteur et le Peul éleveur.

Cette situation a favorisé, durant des siècles, la coexistence dans la même zone d'une diversité de groupes ethniques. Elle constitue aussi un cadre pour le développement des échanges entre les groupes au niveau local et avec d'autres régions si certaines conditions comme le désenclavement, la diversité de la population, l'organisation politique... le permettent.

LA BAISSE DES CRUES ET LA PERTE DES RIZIÈRES

- **L'absence d'aménagement soumet la zone aux caprices des crues**

Le Pondori est un bassin d'inondation qui reste non aménagé ; le canal du Pondori installé au sud, lors de la colonisation pour amener plus largement les eaux du Bani, n'est plus fonctionnel depuis plus de 20 ans. Le projet d'aménagement du seuil de Djenné préparé dès la période coloniale, périodiquement « ressorti des tiroirs » et réactualisé, ne semble pas prêt de trouver un financement, la période actuelle apparaissant peu favorable aux aménagements hydrauliques lourds.

Les activités humaines restent donc dans le Pondori entièrement conditionnées par le niveau de la crue annuelle. C'est elle qui détermine les superficies où il est possible de pratiquer la riziculture de décrue, comme l'ampleur et la quantité de fourrage disponible dans les bourgoutières.

- **La sécheresse a touché tous les groupes humains...**

Après la sécheresse des années 1972-1974, la baisse globale de la pluviométrie qui a frappé le Mali, comme les autres pays du Sahel, a eu comme conséquence de réduire l'ampleur de l'inondation dans le Pondori : les niveaux atteints ont sensiblement baissé et la durée s'est rétrécie. Il en est résulté, pour la population d'agriculteurs présente en permanence dans la zone, une réduction importante des surfaces où il est possible de pratiquer la riziculture traditionnelle de décrue. Dans le Pondori, tous les villages de la zone inondable ont été frappés mais tout particulièrement Djenné, Gomitogo, Yébé, Kandara, Tié, Diéou, Yéra, Kobassa.

Les pasteurs transhumants, Peuls ou Tamatchek, ont vu se réduire les ressources fourragères des bourgoutières.

- **...Exacerbé des conflits latents...**

Les populations Bozo, dont l'activité principale est traditionnellement la pêche, ont également vu diminuer leurs zones d'intervention et les effectifs de poissons disponibles.

Il en est résulté l'exacerbation ou la réactualisation de nombreux conflits entre les différents groupes ethniques liés à des activités concurrentes sur les mêmes espaces :

• Conflits fonciers entre les populations de riziculteurs Somono de la zone inondable et les populations Bambara qui avaient reçu de ces derniers l'autorisation d'installer des cultures sèches (mil) sur le cordon dunaire qui s'étend de Say Mounia jusque vers Gomitogo.

• Conflits entre pasteurs Peuls et Tamatchek et pêcheurs Bozo pour l'accès aux mares.

• Conflits entre groupes de pasteurs transhumants ou entre pasteurs transhumants et éleveurs sédentaires pour l'accès aux bourgoutières.

- **...Et impose la diversification des activités**

Cette modification du milieu physique, traduite essentiellement par la réduction des superficies rizicoles, a donc entraîné une déstabilisation globale du milieu humain et a conduit la plupart des groupes ethniques à s'orienter vers une pluri-activités, conjuguant agriculture, élevage et pêche en fonction des diverses possibilités locales.

RÉGÉNÉRATION DES LIGNEUX

- **Un effet local inattendu de la sécheresse : l'extension des surfaces boisées**

Même si l'on admet généralement que les causes de la déforestation et de la désertification sont d'abord anthropiques, la pensée reste encore inconsciemment fixée sur le schéma simpliste « sécheresse = déforestation ». La zone du Pondori va nous apporter une éclatante démonstration du contraire puisque les sécheresses, en particulier celles de 1974 et 1984, y ont entraîné une progression spectaculaire autant qu'intéressante et diverse de la couverture boisée.

Il est vrai que l'effet de cette sécheresse a été seulement relatif dans le Pondori ; elle a rétréci les zones inondées et les bourgoutières et réduit la hauteur et la durée de la lame d'eau de l'inondation, au point d'empêcher la riziculture de décrue et d'ouvrir, par là même, des espaces à la progression de la végétation.

Cette progression de la végétation ligneuse a globalement pris deux formes nettement différentes :

• Avec l'apparition d'un fourré dense à *Acacia seyal* autour de Kandara, au sud du Pondori.

• Au nord-ouest et à l'est de Djenné, au contraire, vers Diabolo et Gomitogo se sont développés des peuplements ouverts de jeunes *Faidherbia albida* ou balanzan (en Bambara), créant de véritables « pseudo-parcs ».

- **Sur argile : extension des peuplements d'*Acacia seyal***

Acacia seyal est une essence connue pour être pionnière des zones inondées ; entre Soala et Kandara elle a, en peu d'années, couvert de nombreux espaces abandonnés par la riziculture de décrue, créant de larges bandes de fourrés complètement impénétrables.

A l'heure actuelle, on peut estimer que ces fourrés couvrent une superficie de 500 à 1 000 hectares, ce qui représente une portion importante du terroir des villages comme Kandara, Kobassa, Yéra. On comprend bien sûr que ces populations, privées brusquement de la partie la plus intéressante et la plus productive de leurs terres agricoles, n'attendent que le retour de niveaux d'inondation « normaux » pour défricher ces fourrés et les remettre en culture.

En conséquence ces villages où auparavant, faute de bois disponible, les populations utilisaient pour les usages domestiques, selon les saisons, des énergies aussi diverses que la bouse de vache séchée, la paille de riz et même les herbes sauvages, ont pu cuisiner au bois de feu. Mais, et cette leçon paraît exemplaire, cet avantage leur paraît mineur en comparaison de la catastrophe que représente la perte de leurs meilleures terres.

Ces fourrés sont donc progressivement devenus une zone où les pasteurs, nombreux, amènent les troupeaux de caprins et pratiquent abondamment l'ébranchage et la mutilation des *Acacia seyal,* afin de permettre la pénétration des troupeaux et le pâturage du feuillage.

- **Sur des sols plus légers : apparition d'un « pseudo-parc » à *Faidherbia albida***

Sur les terroirs de Djenné, Gomitogo et Diabolo, sur des sols également sablo-argileux mais moins lourds, on a assisté à une colonisation de l'espace des rizières de décrue abandonnées par *Faidherbia albida.* Le balanzan s'est installé généralement à une densité variant entre 50 et 200 pieds à l'hectare, c'est-à-dire comparable à celle des parcs à *Faidherbia albida* que l'on peut observer quelques kilomètres plus loin, sur le cordon dunaire autour de Mounia.

Mais ces peuplements spontanés ne peuvent être assimilés à ces parcs beaucoup plus anciens et qui semblent avoir une origine anthropique classique, comme tous ceux que l'on retrouve sur des sols et dans des conditions similaires entre Djenné et Ségou ou entre Djenné et San. Il nous paraît plus adapté de parler de « pseudo-parcs » à *Faidherbia albida.* Ces peuplements apparaissent en effet de façon spontanée, à la suite du passage répété des troupeaux de caprins et d'ovins nombreux dans la zone du Pondori.

On peut s'interroger sur les causes de la différence entre les deux modes de colonisation d'espaces similaires par deux essences différentes. Observons simplement que :

• Dans les deux cas, le rôle des troupeaux de petits ruminants dans la progression des peuplements apparaît déterminant ; pourquoi, ici, est-ce le balanzan qui en bénéficie et là, l'*Acacia seyal* ? Les conditions de sol jouent-elles un rôle à ce niveau * ; peuvent-elles être seules aussi déterminantes ? Il serait intéressant de procéder à une analyse pédologique plus poussée.

* Ndlr. Dans les plaines des Yaérés, au sud du lac Tchad, on constate que les zones qui ne sont plus inondées sont colonisées par *Acacia seyal* sur vertisols et par *Faidherbia albida* sur microdunes sableuses. Le facteur sol est donc déterminant.

• Une autre essence très fréquente dans la zone et également appétée par le bétail n'a pas progressé comme le balanzan ou l'*Acacia seyal* : *Balanites aegyptiaca* est resté fréquent en bordure des zones inondées mais n'a, semble-t-il, pas colonisé les zones qui subissent encore une certaine inondation.

- **Deux tranches d'âge des *Faidherbia albida* correspondant à deux grandes sécheresses**

Sur le terrain, il est spectaculaire d'observer ces peuplements de balanzan où dominent très nettement deux tranches d'âges. D'une part, des *Faidherbia albida* encore entièrement buissonnants de quatre à six ans ayant environ 1 m de hauteur et, d'autre part, des balanzans, fréquemment encore buissonnants à la base mais où un brin s'est affranchi et atteint entre 2 et 6 m de hauteur.

Il apparaît donc clairement, comme le confirment les habitants, que ces deux « étages » du peuplement du « pseudo-parc » à balanzan sont apparus à l'occasion des deux périodes de sécheresse des années 1972-1974 et 1983-1984.

UN CAS QUI N'EST PAS UNIQUE AU MALI

- **Les berges et les bras secondaires du Niger autour de Gourma Rharous**

Nous avons pu, sur les indications du responsable local des Eaux et Forêts, observer des cas analogues sur certaines zones des berges hautes du Niger ou des bras morts ou secondaires du fleuve, aux environs de Gourma Rharous. Ces zones sont moins étendues que dans le Pondori.

- **Existe-t-il d'autres cas similaires ailleurs ?**

On peut se demander si les conditions qui ont prévalu au Mali, au cours des dernières années, ont été vraiment spécifiques (conjonction de zones abandonnées par l'inondation et d'un pastoralisme important) ou si, au contraire, des cas similaires basés sur des conditions peut-être différentes ont pu être observés ailleurs ; dans ce cas, une analyse comparative pourrait s'avérer intéressante. Nous n'en avons pas trouvé trace dans la littérature *.

UNE TRANSFORMATION DURABLE DU PAYSAGE ?

- ***Faidherbia albida* est menacé par l'inondation...**

Quel est l'avenir de ces pseudo-parcs ? On sait que *Faidherbia albida* est une essence qui supporte mal l'inondation à l'inverse d'*Acacia nilotica* ou même d'*Acacia seyal* ou de *Balanites aegyptiaca* ; qu'adviendra-t-il si l'inondation retrouve rapidement et durablement ses niveaux des années soixante ** ?

Les remontées des inondations des années à forte pluviométrie qui ont succédé à ces deux périodes de sécheresse n'ont pas été suffisantes pour remettre en cause l'existence de ces « pseudo-parcs ». Les peuplements ainsi constitués sont aujourd'hui vigoureux.

Une chose est certaine, et d'ailleurs bien compréhensible, les populations de Djenné, Gomitogo et des villages voisins de ces zones pionnières (à *Faidherbia albida* comme à *Acacia seyal*) n'attendent (et avec impatience) qu'une chose : voir l'inondation atteindre un niveau suffisant pour autoriser à nouveau la culture traditionnelle du riz de décrue. Dans ce cas, on assistera à un défrichement rapide de ces formations récentes pour la remise en culture des terres.

Mais ce phénomène ne s'est pas encore produit et on peut se demander, plus de 15 ans après le premier épisode de sécheresse, si ces zones ne sont pas durablement perdues pour la riziculture. Comment vont-elles alors évoluer ainsi que les formations végétales nouvelles qu'elles portent ?

A ce stade, il est important de préciser que nos compétences en botanique sont limitées et que les observations présentées mériteraient sans doute d'être complétées par une étude plus approfondie sur le plan botanique et écologique.

* Cf. également remarque, p. 50. Au Nord-Cameroun, en aval du barrage de Maga, les savanes herbeuses qui ne sont plus inondées et qui sont intensément pâturées se sont couvertes d'acacias en une dizaine d'années.

** PELISSIER signale que *Faidherbia albida* est très répandu dans les « rizières moyennes » de Basse-Casamance, épisodiquement inondées et toujours très humides pendant la saison des pluies.

- **...Mais faidherbia est protégé par des dépôts éoliens...**

On sait que le jeune plant de *Faidherbia albida,* régulièrement brouté par le bétail, a un port très buissonnant ; c'est généralement entre cinq et dix ans qu'un brin arrive à s'individualiser et qu'il deviendra le tronc de l'arbre adulte.

Lorsqu'on se déplace dans ces zones pionnières à *Faidherbia albida,* on est frappé de différences importantes avec les zones pionnières à *Acacia seyal* :

• *Acacia seyal* forme très vite des fourrés très denses, souvent impénétrables, où les pasteurs ne peuvent conduire les troupeaux que par un travail d'émondage et d'abattage important et surtout pénible et difficile.

• Au contraire, *Faidherbia albida* s'installe de façon très espacée ; on a d'emblée un « pseudo-parc » où la formation reste très largement ouverte, constituée de pieds de balanzan éparpillés sur un sol nu et la zone continue à être parcourue par les troupeaux sans difficultés.

Dans ces zones pionnières à balanzan, l'érosion éolienne, si importante dans ces régions du Mali, continue à s'exercer sans entrave. Mais les pieds buissonnants de balanzan, auxquelles s'associent très vite d'autres espèces végétales : *Ziziphus mauritiana, Balanites aegyptiaca, Acacia raddiana* et des espèces herbacées ou lianescentes diverses et très fréquentes, constituent des « pièges à sable » merveilleux et très efficaces si bien que l'on observe très vite une petite butte autour de chaque pied de balanzan. On peut se demander si cette butte (grossissant et s'élevant à chaque saison sèche) n'a pas été jusqu'à présent, et ne sera pas plus encore au fil des ans, suffisante pour protéger les pieds de balanzan contre le retour de l'inondation en cas de réapparition d'une pluviométrie « normale ».

- **... et par la végétation associée**

Faidherbia albida n'est à l'évidence que l'une des premières essences pionnières sur ce milieu où, auparavant, on ne rencontrait que de rares tamariniers et *Mitragyna inermis.* D'autres essences s'y associent très rapidement, profitant de sa présence et de la butte de sable qui se constitue à son pied.

Ces essences, déjà citées au paragraphe précédent, contribuent à leur tour au piégeage du sable et à l'élévation du niveau du sol.

- **Une exondation progressive, transitoire ou définitive de ces zones**

Autour des pieds buissonnants puis progressivement affranchis de balanzan, les touffes de végétation s'élargissent peu à peu et les espèces se diversifient. Mais, dans ce qui reste une formation ouverte, le piégeage du sable par ces touffes de végétation reste important.

On peut donc se demander si ces zones ne sont pas en définitive promises (sauf en cas de retour d'une inondation forte qui induirait la mort des balanzans et la remise en culture rizicole) à s'exonder progressivement.

Il est évidemment impossible de prévoir si la pluviométrie et les cycles climatiques des prochaines décennies modifieront le processus en cours ou si la zone retournera à son état initial.

- **Vers la transformation du « pseudo-parc » en un parc classique à *Faidherbia albida* ?**

Si le processus actuel se poursuit, il est possible qu'on aboutisse, à échéance d'une ou deux décennies, à la transformation du « pseudo-parc » à balanzan en un parc véritable. Comment imaginer, dans ce cas, que les populations des villages environnants qui ont perdu des terres à riz essentielles ne chercheront pas à les transformer en terres à mil ? Elles ont déjà des conflits fonciers importants avec les populations de la

Si les agriculteurs souhaitent transformer les fourrés de faidherbia en parc pour y cultiver le mil, ils devraient effectuer un travail de défrichage sélectif et d'élagage à l'instar de divers pays.

zone dunaire de Mounia pour récupérer les terres de culture sèche qu'elles leur avaient précédemment cédées, lorsque ces terres exondées ne jouaient pour elles qu'un rôle accessoire au regard des terres inondables où la riziculture était possible.

Dans ce cas, leur connaissance de *Faidherbia albida* et de ses qualités agronomiques permettra aux paysans d'accélérer le passage du pseudo-parc à l'état d'un parc authentique par la mise en oeuvre des actions qu'ils pratiquent déjà sur les terres de culture sèche ancienne, plus haut sur la dune de Mounia. ■

Crédit photos M ARBONNIER, R PELTIER

Remerciements : *Abou Lamine BERTHE était beaucoup plus qu'un collègue, un ami.*

Nous avons travaillé ensemble dans divers cadres, mais surtout nous n'avons jamais cessé de discuter et de parler. Il serait bon qu'il reste dans la mémoire des forestiers africains comme un exemple à la fois de dialogue et de curiosité intellectuelle, mais aussi pour ce qu'il était, un travailleur infatigable et acharné.

Alain BERTRAND

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BERTRAND (A.), BERTHE (A.-L.), DEMBELE (N.), CISSE (I.), MARIKO (F.), 1990. — Pénurie de bois et passage de l'autoconsommation à la commercialisation rurale du bois de feu dans le bassin du Pondori et ses environs au Mali. Rapport de recherche CCE/STD III. France, CIRAD-Forêt, DNEF, IER, CRA.

DNEF, 1989. — Notice du cercle de Djenné. Projet inventaire et surveillance continue des ressources ligneuses. Bamako, Mali, DNEF.

PIRT (Projet Inventaire des Ressources terrestres), 1984. — Atlas du Mali, Bamako, Mali.

Alain BERTRAND
CIRAD-Forêt
BP 853
Antananarivo (Madagascar)

Abou Lamine BERTHE
BP 275
Bamako (Mali)

RÉSUMÉ

Les auteurs établissent un parallèle entre l'évolution des structures agraires et de la végétation dans la région du Pondori, au Mali. Les sécheresses des années 70, puis 80 y ont entraîné une baisse des crues des fleuves Niger et Bani.

De ce fait, les zones jusque-là périodiquement occupées par la riziculture ont été exondées pendant plusieurs années successives et n'ont plus servi que de pâturage. Sur les sols les plus argileux se sont développés des fourrés impénétrables d'*Acacia seyal*.

Au contraire, sur des sols plus légers, c'est *Faidherbia albida* qui s'est installé en touffes discontinues mais assez denses. Ces buissons ont piégé le sable éolien qui s'est déposé à leur pieds en petites buttes, sur lesquelles s'est ensuite développée toute une série de végétaux. De ce fait, un retour modéré de l'inondation ne devrait pas entraîner la mort de ces arbres qui seront certainement intégrés par les agriculteurs à un système agroforestier mil/*Faidherbia albida*. Il en serait autrement si les crues étaient plus importantes et entraînaient un retour de la riziculture.

A travers cet exemple, l'importance des aléas climatiques et des modifications de pratiques culturales qui en découlent pour la régénération de *Faidherbia albida* est ainsi illustrée.

Mots-clés : *Faidherbia albida*. Structure agricole. Végétation. Utilisation des terres. Crue. Terre inondée. Système agraire.

ABSTRACT

The authors make a parallel between the development of agrarian structures and the vegetation in the Pondori region, in Mali. The droughts occurring in the 1970s and then in the 1980s have given rise to decreased spates in the Niger and Bani rivers.

As a result of this, zones hitherto periodically used for cultivating rice have not been subjected to flooding over several years and have since been used only as pastureland. More clayey areas have seen the development of impenetrable thickets of *Acacia seyal*.

In lighter soil, on the contrary, *Faidherbia albida* has become established in scattered but quite dense clumps. These bushes have trapped wind-blown sand that has settled at their base in small piles, on which a whole series of plants have then developed. Because of this, moderate reflooding should not give rise to the death of these trees, which will certainly be incorporated by farmers in a millet/*Faidherbia albida* agroforestry system. This would not be the case if flooding became major and gave rise to a return to rice growing.

Through this example, the importance of climatic ups and downs and of modifications to farming practices stemming from them for the regeneration of *Faidherbia albida* is thus illustrated.

Key words : *Faidherbia albida*. Agricultural structure. Vegetation. Land use. Flooded land. High water. Agrarian system.

ÉMONDAGE TRADITIONNEL DE *FAIDHERBIA ALBIDA*

Production fourragère, valeur nutritive et récolte de bois à Dossi et Watinoma (Burkina Faso)

par Denis DEPOMMIER, agroforestier, CIRAD-Forêt/IRBET
Hubert GUERIN, spécialiste de l'alimentation animale, CIRAD-E.M.V.T.

Après un émondage modéré, ces pasteurs peuls laissent le bétail manger les feuilles et les jeunes pousses, puis ils récoltent le bois.

L'importance fourragère de *Faidherbia albida* a été largement reconnue en Afrique de l'Ouest pour la valeur nutritive de ses fruits et de ses feuilles, disponibles par le fait que l'espèce est feuillée en saison sèche à un moment critique de l'alimentation du bétail (BONKOUNGOU, 1987 ; C.T.F.T., 1988).

La composition chimique comme la valeur fourragère des feuilles et des fruits a fait l'objet de nombreuses analyses qui montrent en particulier une haute teneur en azote, comparativement aux graminées dont faidherbia constitue un complément fourrager indispensable (CURASSON, 1958 ; AUDRU, 1966 ; BOUDET, 1970, 1992 ; GUERIN, 1991).

Toutefois, ces résultats d'analyses peuvent beaucoup varier. Une interprétation comparative en est rarement donnée et il apparaît difficile de le faire dans les conditions très diverses, dendrométriques, environnementales et d'aménagement des arbres échantillonnés. Il était donc souhaitable d'acquérir des données complémentaires, surtout en milieu rural.

La composition minérale des espèces ligneuses sahélo-soudaniennes est globalement connue (IEMVT, 1990 ; GUERIN, 1991) mais les évaluations approfondies sur des espèces aussi importantes que *Faidherbia albida* sont encore très ponctuelles.

La quantification des productions primaires fourragères (biomasses en feuilles et fruits) est, quant à elle, très peu documentée ; il est difficile, en effet, d'estimer de telles biomasses sujettes à de fortes fluctuations individuelles, saisonnières ou de site, inévitablement liées à la pratique de l'émondage.

Les principales références sur la production foliaire proviennent de CISSE (1984, 1987, 1992). Pour ce qui concerne les fruits, les résultats sont très ponctuels, portant par exemple sur un seul individu et une seule saison et établis sur des extrapolations d'estimations très fragmentaires. La seule étude faite sur plusieurs années et ayant conduit à une interprétation climatique de la variabilité de la production fruitière vient de DUNHAM (1990), au Zimbabwe, où *Faidherbia albida* n'est ni aménagé en parc ni exploité par l'homme, comme c'est le cas en zone sahélo-soudanienne.

Les modes d'exploitation de l'espèce, pour ses fruits et surtout pour ses feuilles, l'émondage tel qu'il est traditionnellement pratiqué et les effets de celui-ci sur l'arbre, en particulier sur son potentiel fourrager, n'ont été qu'effleurés. Beaucoup de réponses restent attendues ; elles préciseraient et relativiseraient l'importance fourragère de *Faidherbia albida*.

C'est pourquoi, dans le cadre d'une étude comparative du fonctionnement et de la dynamique des parcs à *Faidherbia albida* des terroirs de Dossi et de Watinoma, en zone soudanienne et subsahélienne du Burkina Faso, ont été mis en place :

- un suivi de l'émondage des arbres, doublé d'une enquête auprès des exploitants ;
- des essais répétés d'émondage total ;
- des dispositifs de récolte totale de fruits.

Suivis, essais et analyses des feuilles, rameaux et fruits récoltés ont conduit à évaluer quantitativement et qualitativement les biomasses de l'espèce sur différents sites et sur plusieurs saisons, et finalement, à caractériser l'importance fourragère de *Faidherbia albida* et sa valeur nutritive.

LES ÉLEVEURS ET LEURS TROUPEAUX

On touvera les caractéristiques générales des terroirs de Dossi et de Watinoma dans les articles de D. DEPOMMIER et de D. DEPOMMIER et P. DETIENNE, respectivement aux pp. 9 et 23 de cet ouvrage ; ne seront mentionnés ici que les aspects relatifs à l'élevage.

COMPOSITION DES TROUPEAUX MODE ET BUTS DE L'ÉLEVAGE

A Watinoma comme à Dossi, l'élevage est chez les agriculteurs mossé et bwas * une composante économique secondaire des exploitations agricoles mais il concerne respectivement 88 et 84 % d'entre elles. L'élevage du grand et du petit bétail se fait sur un mode extensif.

L'exploitation a en moyenne quinze à vingt têtes, les troupeaux étant dominés par les petits ruminants (cf. tableau I, p. 58) ; même les Peuls de Watinoma n'ont pas de grands troupeaux. Sédentarisés, ils ont fait de l'agriculture leur principale activité. Les ressources fourragères et en eau limitées de ce petit terroir n'autorisent d'ailleurs pas l'élevage de grands troupeaux. Cependant, on a pu compter des charges moyennes à l'hectare de trois à quatre ovins et caprins et de un à deux bovins sur les parcs à *Faidherbia albida* au cours des saisons sèches 1993 et 1994.

Mais ce qui différencie les élevages de Dossi et de Watinoma relève plus des finalités recherchées que des spécificités du milieu :

- A Dossi, les bovins sont pour l'essentiel des bœufs de trait. A Watinoma, les bovins représentent un capital et fournissent du fumier. Les ânes sont ici les animaux de trait.
- Les petits ruminants, mais aussi les porcs à Dossi, élevés par les femmes, constituent un élevage de rente. Outre des revenus, chèvres, moutons et porcs procurent du fumier et sont consommés à l'occasion, assez fréquente, de fêtes ou d'événements sociaux.
- Les Peuls, à la différence des Mossé, élèvent des bovins et des petits ruminants en premier lieu pour

* Mossé, pluriel de moaga, de l'ethnie mossé (les Mossé sont souvent désignés sous le nom de Mossis) ; bwas de l'ethnie bwa ou bwaba.

TABLEAU I
L'elevage et les exploitants des parcs à *Faidherbia albida* de Dossi et de Watinoma

Exploitants	Pourcentage d'exploitation avec des :					Taille moyenne des troupeaux des exploitants				
	Bovins	Ovins	Caprins	Anes	Porcs	Bovins	Ovins	Caprins	Anes	Porcs
Agriculteurs de Dossi (1)	58 dont 56 de trait	20	52	4	24	7 (± 2)	5 (± 3)	4 (± 3)	0 à 1	2 à 3
Agriculteurs de Watinoma (2)	40 dont 6 de trait	60	84	88	0	8 (± 8)	6 (± 4)	5 (± 3)	2 (± 1)	0
Pasteurs de Watinoma (3)	100	100	100	20	0	12 (± 8)	21 (± 9)	25 (± 10)	0 à 1	0

(±) = Ecart-type à la moyenne.
(1) = Enquête agroforestière faite auprès de 50 exploitants (1992).
(2) = Enquête agroforestière faite auprès de 50 exploitants (1992).
(3) = Enquête sylvopastorale faite auprès de 20 exploitants (1993).

A Watinoma, dans le parc de haut de versant, un agriculteur mossé a coupé quelques branches de faidherbia pour nourrir ses brebis (dimensions du faidherbia : hauteur, 15 m ; circonférence, 4 m. Remarquer les baobabs et les régénérations de neem).

la production de lait. L'effectif de leurs troupeaux leur fournit de grandes quantités de fumier pour leur cultures.

La densité de bétail est à l'instar de celle des hommes beaucoup plus élevée à Watinoma qu'à Dossi. Sur les quelque 11 km^2 de Watinoma, les troupeaux des agriculteurs et des Peuls peuvent être estimés à un peu plus de 3 000 têtes *, aux trois quarts composés de chèvres et de moutons. A Dossi, sur plus de 250 km^2, les agriculteurs ont environ 2 000 têtes **, dont plus de 50 % de bovins, sans compter les troupeaux des Peuls résidant sur ce terroir mais qui sont peu présents sur le parc à faidherbia.

LES PRINCIPALES CONTRAINTES DE L'ÉLEVAGE L'AFFOURAGEMENT DES TROUPEAUX ET LA PLACE TENUE PAR *FAIDHERBIA ALBIDA*

Les contraintes de l'élevage sont révélatrices des potentialités du milieu et du faible niveau économique des exploitations :

- A Dossi où les ressources fourragères ne manquent pas, les maladies sont la contrainte quasi unique de l'élevage.

- A Watinoma, aux maladies s'ajoute le manque de fourrage, contrainte majeure mentionnée par les agriculteurs, en particulier pour leurs bovins. Pour les Peuls, outre ces contraintes, celle de l'eau ou de son accès reste primordiale.

L'affouragement des bovins est majoritairement assuré par les résidus de cultures alors que les petits

* Soit environ 1 UBT/ha, la charge étant discontinue dans le temps (une Unité de Bétail Tropical correspond à un bovin de 250 kg présent en permanence).
** Soit environ 0,05 UBT/ha.

TABLEAU II
Principales sources de fourrage pour le bétail élevé par les exploitants des parcs à *Faidherbia albida* de Dossi et de Watinoma
en % de réponses exprimées par rang d'importance

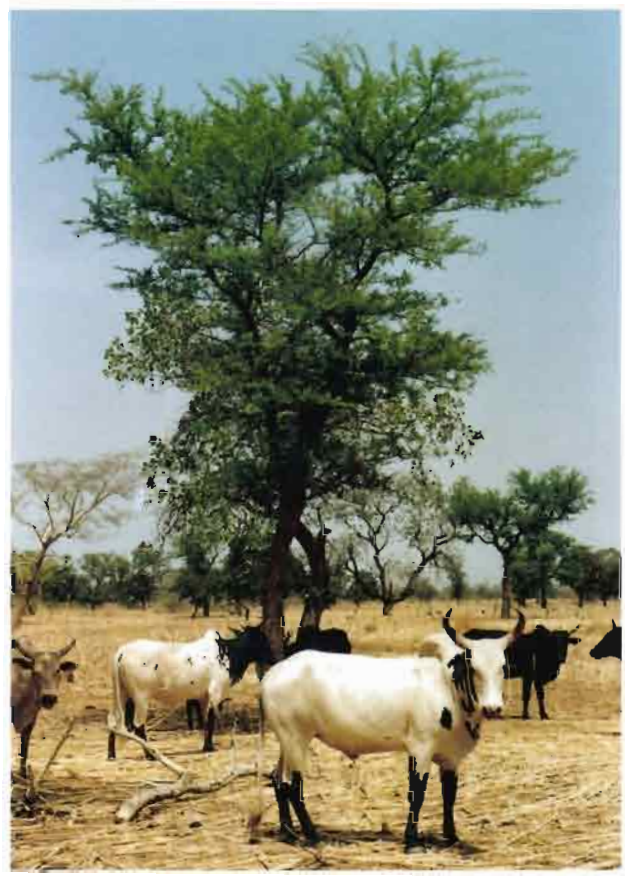
Exploitants	Sources fourragères	Bovins			Ovins			Caprins		
		R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Agriculteurs de Dossi	Résidus de cultures	56	14	—	20	—	—	15	—	—
	Pâturage de brousse (1)	34	3	4	50	—	—	52	4	—
	Fruits et feuilles de faidherbia	—	35	38	10	40	10	—	30	11
	Feuilles et fruits de divers ligneux	—	41	24	—	20	20	—	52	11
	Herbes fourragères (2)	10	—	—	20	10	—	33	4	4
Agriculteurs de Watinoma	Résidus de cultures	65	35	—	10	47	10	14	39	9
	Pâturage de brousse (1)	30	18	23	75	7	—	84	9	—
	Résidus ménagers	5	17	35	7	10	10	—	7	14
	Herbes fourragères (2)	—	17	18	—	3	27	—	5	25
	Fruits et feuilles de faidherbia	—	6	24	8	20	13	2	25	9
	Feuilles et fruits de divers ligneux	—	6	—	—	—	3	—	—	9
Agropasteurs (3) de Watinoma	Résidus de cultures	75	25	20	55	45	25	65	30	5
	Pâturage de brousse (1)	25	15	—	10	—	—	5	5	—
	Fruits et feuilles de faidherbia	—	25	25	20	—	20	15	25	30
	Feuilles et fruits de divers arbres	—	30	45	5	55	35	5	30	40
	Feuilles et fruits de divers arbustes	—	5	10	10	—	20	10	15	25

R1, R2 et R3 = Rangs, par ordre d'importance, des sources fourragères citées (au moins 1, au plus 3).
(1) = Herbacées, arbustes et arbrisseaux.
(2) = A base d'*Andropogon gayanus* souvent propagé en lignes de délimitation ou sur bourrelets de terres et cordons pierreux.
(3) = Peuls dont les résponses sur l'affouragement ne concernent que la période de la saison sèche.

ruminants dépendent surtout des pâturages en brousse (cf. tableau II). Les ligneux constituent une source fourragère importante, en particulier pour les agriculteurs de Dossi et les éleveurs de Watinoma.

Parmi les ligneux, *Faidherbia albida* est l'espèce la plus exploitée tant pour ses fruits que pour ses feuilles. C'est à Dossi que l'espèce apparaît proportionnellement la plus utilisée. Le parc qui couvre près de 350 ha constitue un potentiel fourrager dépassant les besoins des troupeaux villageois. Ce sont surtout les bœufs de trait et les moutons, beaucoup moins nombreux, qui en bénéficient.

A Watinoma, feuilles et fruits de *Faidherbia albida* sont autant consommés par les troupeaux des Mossé que par ceux des Peuls. Ce sont les petits ruminants qui en sont les principaux consommateurs. Les fruits seraient particulièrement appétés par les chèvres et les moutons.



Dans le parc de bas de versant de Watinoma, bétail peul pâturant des résidus de culture et des émondes (derrière le zébu blanc, un faidherbia de 12 ans environ ayant 77 cm de circonférence).

MÉTHODOLOGIE

LES ENQUÊTES AGROFORESTIÈRES

Auprès de chacune des communautés d'exploitants des parcs, agriculteurs bwas et mossé et éleveurs peuls résidents de Watinoma, des enquêtes agroforestières ont été réalisées. Celles-ci avaient entre autres objectifs de reconnaître l'importance fourragère de *Faidherbia albida*, les phytopratiques liées à l'exploitation de l'arbre et, d'une façon générale, le savoir-faire traditionnel des exploitants en matière d'émondage de l'arbre.

L'élevage revêtant une importance particulière chez les Peuls, reconnus pour être les plus larges utilisateurs de *Faidherbia albida* à des fins fourragères, un questionnaire approfondi sur les relations qui les lient à l'arbre et à leur bétail leur a été soumis.

Les enquêtes ont été développées sur la base d'un échantillonnage représentatif des populations sondées et de questionnaires standardisés largement communs aux trois communautés d'exploitants :

- auprès de 50 agriculteurs du parc à Dossi (taux de sondage : 10 %) ;
- auprès de 50 agriculteurs des parcs de haut et de bas de versant à Watinoma (taux de sondage : 30 %) ;
- auprès de 20 Peuls exploitants des parcs de Watinoma (taux de sondage : 50 %).

SUIVI DE L'ÉMONDAGE DE *FAIDHERBIA ALBIDA*

Si *Faidherbia albida* est, tant à Watinoma qu'à Dossi, principalement conservée à des fins agronomiques, l'espèce ne revêt cependant pas la même importance fourragère à la seule observation de l'émondage des arbres.

Afin d'évaluer précisément l'étendue et les modalités d'application de l'émondage, un suivi des arbres a été réalisé sur chaque parc comme suit :

- Durant trois saisons sèches à Watinoma, sur la quasi-totalité de l'effectif des peuplements de haut et de bas de versant (n = 260), respectivement sur sols superficiels ferrugineux tropicaux lessivés et sur sols profonds hydromorphes. Le suivi a été appliqué entre le début et la fin de chaque saison, trois fois en 1992 et 1993 et deux fois en 1994.
- Durant une saison sèche à Dossi, sur un quart de l'effectif total (n = 710), constituant un échantillon représentatif de la structure des populations des trois principales unités morphopédologiques du parc : dans la partie centrale du parc aux sols bruns eutrophes plus ou moins hydromorphes et, de part et d'autre de celle-ci, sur les versants aux sols peu profonds, brun-eutrophes colluviaux à l'ouest et ferrugineux tropicaux lessivés à l'est.

Pour le cas de Watinoma, une pré-évaluation de l'émondage ayant montré que celui-ci pouvait être répété dans une même saison où se chevauchaient alors des coupes et des recoupes d'intensité inégale, on a facilité le suivi à l'aide de clichés photographiques. Tous les individus ont été systématiquement photographiés à chaque passage dans le même plan (plein nord). Par la comparaison de deux clichés successifs, une information précise sur les prélèvements effectués a pu être enregistrée.

Pour ce faire, nous avons défini la cotation suivante portant sur :

- L'intensité de l'émondage
  - 1 : nulle (pas d'émondage)
  - 2 : très faible à faible (1 à 25 % du houppier)
  - 3 : modérée (25 à 50 %)
  - 4 : forte (50 à 75 %)
  - 5 : très forte à totale (75 à 100 %)
- La partie du houppier émondée
  - 1 : aucune (pas d'émondage)
  - 2 : branches basses
  - 3 : branches hautes
  - 4 : inégalement distribuée dans le houppier
  - 5 : tout le houppier

Cette cotation a été appliquée à tous les peuplements étudiés afin de pouvoir quantifier et comparer la pratique de l'émondage entre parcs, sites et peuplements, mais aussi d'une saison à l'autre. Ce suivi devait également permettre de recouper les informations tirées des enquêtes et finalement de déterminer l'effet de l'émondage sur le développement des arbres et la dynamique des peuplements, pour le cas de Watinoma.

A Dossi, les arbres étant en nombre et en intensité peu émondés, le suivi n'a été appliqué qu'une fois, entre le milieu et la fin de la saison sèche, aucun émondage n'intervenant avant cette période. Mais l'évaluation a été faite au cours de deux saisons successives, en 1993 et 1994.

ÉVALUATION DE LA BIOMASSE FEUILLÉE ET RÉPONSE DE L'ARBRE À L'ÉMONDAGE TOTAL

L'évaluation de la biomasse feuillée a été réalisée par un essai d'émondage total répété à un an d'intervalle, en fin de saison sèche, à Dossi et à Watinoma.

Les produits émondés ont été évalués quantitativement sur le terrain et qualitativement, sur échantillonnage, en laboratoire.

- **Quantité de biomasse produite**

Trente faidherbias des parcs étudiés ont été préalablement identifiés pour leur bon état sanitaire, leur dispersion spatiale représentative des peuplements et leur houppier pas ou peu affecté par des émondages récents.

L'échantillonnage a été structuré à trois niveaux : stations de Dossi et de Watinoma, sites de haut et de bas de versant et bas-fonds et, au dernier niveau, petits et grands individus répartis en deux classes de circonférence, 50-150 cm et 150-250 cm.

L'émondage revêtant une importance particulière à Watinoma, vingt arbres y ont été retenus contre dix à Dossi.

Les émondages ont été réalisés en milieu de saison sèche, en mars 1993 et 1994, à une période où les arbres sont encore bien feuillés et sont déjà fortement émondés.

La coupe des branches a été faite à la machette dans les houppiers comme le font les exploitants pour affourager leur bétail.

Au sol, les rameaux feuillés ont été débités au sécateur et mis en sac ouverts pour être séchés à la température ambiante (40 °C). Ultérieurement, les sacs fermés ont été battus afin de séparer les feuilles des tiges épineuses et chaque partie a été pesée. Le poids sec de la biomasse feuillée de chaque arbre a été augmenté de 5 % pour pertes estimées à la récolte et au battage des rameaux feuillés.

On a donc évalué, à la première coupe, la biomasse supposée être produite au cours de la saison sèche 1992-93 et, à la seconde coupe, la biomasse feuillée produite en un an, entre les deux coupes.

- **Aptitude à rejeter et vigueur de croissance**

Au second émondage, constitué des repousses d'un an du premier émondage, on a mesuré la longueur et la circonférence à la base de dix rejets par arbre pris aléatoirement, afin d'évaluer la vigueur à rejeter des arbres et à reconstituer leur houppier en fonction du site et de la circonférence des individus.

- **Valeur nutritive des feuilles et des rameaux chlorophylliens**

A partir de deux émondages, l'un en milieu de saison, l'autre en fin de saison, un échantillonnage de feuilles sèches de *Faidherbia albida* a été constitué comme suit :

• A Dossi et Watinoma : cinq lots de feuilles d'arbres de haut de versant ; cinq lots de feuilles d'arbres de bas de versant, tous émondés en février 1993, en milieu de saison sèche.

• A Watinoma, uniquement : pour comparaison, dix lots de feuilles issus du même échantillon d'arbres de haut et bas de versant émondés en avril 1992, en fin de saison sèche.

Les trente lots ont été analysés par le laboratoire de Nutrition animale du CIRAD-EMVT pour déterminer la variabilité de la composition chimique des feuilles en fonction des facteurs site et station, ainsi que des périodes d'émondage et de récolte. La digestibilité de la matière organique et des matières azotées a été aussi estimée.

Les dosages suivants ont été effectués :

• La Matière Sèche (MS).

• Les cendres assimilées aux matières minérales (MM), qui permettent de calculer par différence la Matière Organique (MO = MS – MM).

• Le fractionnement des constituants pariétaux par la méthode de Van Soest et Wine (1967) qui permet de déterminer les « parois totales » (Neutral Detergent Fiber- NDF), la « lignocellulose » (Acid Detergent Fiber ADF) et la « lignine » (Acid Detergent Lignin - ADL). Ces résultats permettent d'estimer par différence les teneurs en « hémicellulose » (NDF-ADF) et en « cellulose » (ADF-ADL), ainsi que le degré de lignification des parois (ADL/NDF et ADL/ADF).

• Les matières azotées totales (MAT) et leur fraction liée au résidu ADF (MAadf), considérée comme indigestible et d'importance très variable chez les fourrages ligneux (MASON, 1969).

• Les tanins précipitant la séro-albumine bovine (GRILLET, VILLENEUVE, 1994). Ce dosage constitue une première approche, rapide, de la teneur en tanins des espèces ligneuses mais il est insuffisant pour étudier les effets des teneurs en tanins sur la digestibilité. C'est en particulier la cas pour les feuilles de *Faidherbia albida* (CIRAD-EMVT *et al.*, 1994).

• Les matières grasses qui influencent la teneur en énergie brute.

Les variations de la digestibilité de la matière organique, principal facteur de variation de la valeur énergétique, ont été étudiées par une méthode enzymatique à la pepsine cellulase (AUFRERE, MICHALET-DOREAU, 1990) et par une méthode *in vitro* utilisant du jus de rumen (MENKE, STEINGASS, 1988) qui permet aussi d'estimer la teneur en énergie métabolisable (EM).

Les variations de la dégradabilité des matières azotées dans le rumen, l'un des plus importants paramètres de la valeur azotée pour les ruminants, ont été étudiées par une méthode enzymatique utilisant une pronase (AUFRERE, CARTAILLER, 1988).

PRODUCTION ET VALEUR NUTRITIVE DES FRUITS

Comme pour la biomasse feuillée, une évaluation quantitative de la production de gousses de *Faidherbia albida* a été faite :

• à Dossi, au cours des saisons sèches 1994 et 1995 sur cinquante semenciers des différentes unités morphopédologiques du parc (trente-quatre arbres communs aux deux saisons) ;

• à Watinoma sur vingt semenciers répartis sur haut et bas de versant, pour les saisons 1992 à 1995 (dix arbres communs aux quatre saisons).

L'échantillonnage a été aléatoirement constitué d'individus en âge de fructifier, distribués en deux classes de circonférences à Watinoma (50-150 et 150-250 cm) et trois à Dossi (100-150, 150-200 et 200-250 cm), représentatives des peuplements étudiés. A cet échantillonnage ont été incorporés les arbres soumis à l'essai d'émondage total pour évaluer l'effet de celui-ci sur la production fruitière.

Les récoltes ont été organisées selon deux méthodes sur chaque parc :

• Initialement, à la première récolte, tous les arbres identifiés ont été clôturés au moment de la floraison, soit entre novembre et décembre. Les clôtures de 1,50 m de hauteur, tendues sur fil de fer barbelé en haut et fixées sur crochets en bas afin de constituer un écran infranchissable à tout animal, étaient mises en place sur un périmètre légèrement supérieur à celui constitué de la projection au sol du houppier des arbres. Ainsi tout fruit tombant sous le houppier ou dans sa proximité échappait-il à la dent du bétail. De plus, un ramassage quotidien des fruits déhiscents, doublé d'un gaulage des fruits mûrs, était réalisé au cours de la fructification. Ce dispositif de récolte s'est avéré bien adapté aux petits arbres mais lourd à installer pour les arbres au plus large houppier (50 m de clôture pour 150 m^2 de houppier). En outre, à plusieurs reprises, des chevreaux ont réussi à passer sous les clôtures.

• Aussi, aux saisons suivantes, une partie de l'échantillon a été récoltée directement sur houppier par gaulages successifs. Afin de s'assurer de la totalité des récoltes, les fruits ont été prélevés au stade de semi-maturité (fruits jaunissants encore turgescents).

Les fruits étaient ensuite séchés à l'air sec, puis mis en sac au fur et à mesure de la maturation des fruits restant sur l'arbre après chaque gaulage.

L'opération s'est avérée efficace dans la mesure où, en peu de temps, des récoltes totales ont été réalisées avec des pertes qui n'étaient pas supérieures à celles enregistrées avec la méthode des clôtures. Dans les deux cas, après pesées des récoltes, les valeurs pondérales ont été majorées de 5 %.

A partir des récoltes totales de fruits de 1993, vingt lots de fruits provenant de dix arbres de Dossi et de dix arbres de Watinoma ont été analysés comme l'ont été les feuilles de ces mêmes arbres. Les mêmes paramètres ont été mesurés pour évaluer la digestibilité de la matière organique et la teneur en matières azotées digestibles.

TENEURS EN ÉLÉMENTS MINÉRAUX DES FEUILLES, FRUITS ET DES RAMEAUX CHLOROPHYLLIENS

L'évaluation de la valeur nutritive des feuilles et des fruits de *Faidherbia albida* a été complétée par une analyse des éléments minéraux ; 80 lots ont été échantillonnés comme suit :

• 20 lots de feuilles d'arbres de Watinoma : 10 de haut de versant et 10 de bas de versant ;

• 9 lots de feuilles d'arbres de Dossi : 4 de la dépression centrale et 5 des versants ;

• 20 lots de fruits d'arbres de Watinoma : 10 de haut de versant et 10 de bas de versant ;

• 21 lots de fruits d'arbres de Dossi : 7 des versants et 14 de la dépression centrale, dont 7 sur sols à caractère hydromorphe ;

• 10 lots de rameaux chlorophylliens d'arbres de haut et de bas de versant de Watinoma.

Le prélèvement et l'analyse de rameaux terminaux chlorophylliens ont été justifiés par le fait que le bétail

en consommait systématiquement lors des ébranchages, les broutant jusqu'à une section de 1 à 2 cm.

Rameaux et feuilles ont été échantillonnés sur l'essai d'émondage total des arbres de février 1994, les derniers fruits ayant été récoltés à cette occasion.

Les analyses faites par l'Unité de Recherches et d'Analyses (URA) du CIRAD ont porté sur :

- l'Azote total : dosage par combustion, LECO ;
- le Chlore : extraction par HNO_3, dilué avec dosage potentiométrique par électrode d'argent ;
- le Soufre : minéralisation par calcination avec ajout de Mg $(NO_3)_2$; dosage néphélométrique (formation de $BaSo_4$) sur colorimètre automatique TECHNICON ;
- le Phosphore, le Potassium, le Calcium, le Magnésium, le Sodium, le Fer, le Zinc, le Manganèse, le Cuivre et le Bore, mis en solution par minéralisation voie sèche, selon la méthode de double calcination CH.

Les dosages ont été effectués sur un spectromètre d'émission à plasma d'argon (ICP-JY50).

Watinoma, bas de versant, mai 1993, deux mois après l'émondage : enstérage du bois avant pesée. Remarquer les jeunes repousses, bien que l'on soit en début de saison des pluies (circonférence de l'arbre : 2 m ; poids des feuilles récoltées : 50 kg).

QUANTITÉ DE BOIS PRODUITE À L'ÉMONDAGE TOTAL

En 1993 et 1994, à Watinoma, après chaque émondage total des faidherbias et prélèvement de la biomasse feuillée, le bois a été débité en stères, séché à l'air libre et pesé. On a ainsi pu évaluer les productions ligneuses issues du mode d'émondage le plus intense en fonction du site et de la dimension des arbres.

PLUVIOMÉTRIES DES ANNÉES ET DES SITES D'ÉUDE
en mm

	1991	1992	1993	1994
DOSSI	922	1 041	824	1 107
WATINOMA	731	527	630	1 025

RÉSULTATS

LA PRATIQUE DE L'ÉMONDAGE À WATINOMA : CONNAISSANCE ET SAVOIR-FAIRE DES PEULS

- **L'émondage par les agriculteurs et les Peuls ou la surexploitation de *Faidherbia albida***

A Watinoma, tous les Peuls pratiquent l'émondage de *Faidherbia albida*, en moyenne sur vingt à cinquante arbres par saison, les arbres les plus grands et les plus feuillés étant les plus recherchés. 95 % des interrogés disent émonder faiblement à modérément mais l'observation sur le terrain montre qu'un tiers des arbres est fortement à très fortement émondé.

En fait, la contradiction n'est qu'apparente et tient à deux facteurs :

- Les coupes sont en moyenne appliquées deux fois sur chaque arbre par saison, mais ce qui reste d'un émondage modéré sera prélevé par un autre exploitant, l'émondage devenant total.
- La pression d'émondage, déjà forte entre exploitants peuls, est renforcée par l'émondage que pratiquent les agriculteurs. Ils sont 43 % à émonder *Faidherbia albida*. Bien que le faisant le plus souvent une fois par saison, en moyenne sur moins de cinq arbres, ils les émondent presque tous fortement à très fortement.

Faidherbia albida est émondé dans sa quasi-totalité par les agriculteurs sur les parcs de haut de versant, à proximité de leurs habitations et principalement par les Peuls sur les parcs de bas de versant à proximité desquels ils résident. Pour les Peuls, les ressources fourragères aujourd'hui très insuffisantes en saison des pluies, depuis que les agriculteurs cultivent les bas-fonds, sont aussi insuffisantes en saison sèche depuis que ceux-ci émondent les faidherbias.

- **Evolution quantitative et qualitative de la production feuillée au cours de la saison**

A la question groupée demandant aux Peuls à quelle période le feuillage de *Faidherbia albida* était le plus productif, le plus nourrissant et le plus nécessaire pour le bétail, les réponses, illustrées par la figure 1, montrent bien à la fois le recoupement des périodes et le décalage entre la production quantitative et qualitative et les besoins :

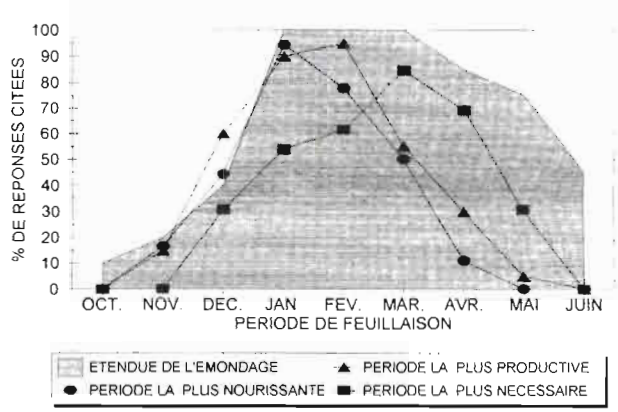
• En janvier, les rameaux, en pleine feuillaison, sont les plus nourrissants. C'est à cette période que commence l'émondage alors que les résidus de culture ont été enlevés, consommés ou piétinés par le bétail.

• Janvier et février constituent les maxima de la production feuillée ; les émondages s'intensifient. Au-delà de cette période, les feuillages sont de moins en moins productifs et de moins en moins nourrissants.

• Mars et, dans une moindre mesure, avril sont les mois d'émondage les plus nécessaires à l'affouragement du bétail. En cette fin de saison sèche, les émondages sont très forts et souvent répétés sur les mêmes arbres. La production feuillée qui baisse en quantité et en qualité est relevée par les repousses issues des premiers émondages de saison.

FIGURE 1

Evaluation de l'émondage et de la valeur du feuillage de *Faidherbia albida* par les Peuls de Watinoma.



- **Sources de variation de la valeur nutritive et de la productivité des fruits et des feuilles de *Faidherbia albida***

A Watinoma, les fruits de *Faidherbia albida* sont gaulés par tous les Peuls pour leur bétail. Les agriculteurs et leurs enfants qui conduisent des troupeaux sur les parcs le font régulièrement pour plus de la moitié d'entre eux sur l'ensemble des parcs. Mais sur les parcs de haut de versant, à proximité des enclos, le gaulage et parfois le ramassage et le stockage des fruits sont réalisés par plus de 70 % des exploitants sur leurs arbres.

Pour plus du tiers des Peuls interrogés, tous les fruits et toutes les feuilles se valent sur un plan nutritif.

Mais, pour 50 %, « les fruits rouges sont meilleurs que les fruits jaunes », l'appréciation traduisant le fait que ceux-ci sont plus appétés par le bétail *.

Les arbres de haut de versant seraient meilleurs producteurs de fruits que ceux de bas de versant, eux-mêmes meilleurs que ceux de bas-fonds. Les productions seraient toutes potentiellement bonnes sur les sols secs alors qu'elles seraient faibles à modérées sur les autres sites. « L'excès d'eau nuit à la production de gousses » précisent certains personnes interrogées à propos des arbres de bas-fonds.

Pour tous, la production de fruits est très irrégulière et imprévisible. La productivité serait liée, par ordre d'importance :

• Au facteur émondage (pour 100 % des personnes interrogées). Les coupes fortes et/ou tardives dans la saison nuisent à la production fruitière de l'année suivante. Inversement, une coupe de début de saison, si elle est modérée, améliorera la production ou du moins ne la contraindra guère. La coupe appliquée en milieu de saison sur les rameaux en fleurs est évidemment rédhibitoire pour la production de fruits. Mais un arbre qui n'a pas été émondé depuis des années aura une très faible production fruitière, de l'avis de certains **.

* La plupart des fruits produits sont jaunes (8 à 9 arbres sur 10). Les fruits orangés et parfois brun-rouge sont plus fréquents sur bas de versant qu'en haut de versant (environ 20 % des fruits contre quelques p. 100 pour la récolte faite sur 40 semenciers en 1992). Si la couleur des fruits ne semble pas liée à la maturation, par contre les conditions pédologiques et celles génétiques sont sans doute à l'origine de différences de coloration mais aussi de forme et de taille observées entre individus.

** On peut émettre plusieurs hypothèses sur cet avis :
- La taille stimule l'arbre qui refait du bois jeune et des rameaux florifères, par analogie avec les fruitiers au vieux bois improductif.
- La taille a un effet sanitaire. Les branches malades parasitées, et en particulier celles gagnées par les *Loranthus spp.*, sont éliminées. L'effet combiné à celui de la rajuvénilisation peut favoriser la production fruitière.

• Aux facteurs climatiques (pour 40 %). Une bonne pluviométrie, selon certains, et un froid marqué en début de saison sèche, pour d'autres, favoriseraient la production fruitière. Par contre, le vent et les pluies tardives seraient à l'origine de faibles productions du fait qu'ils affectent la floraison.

• Enfin, aux attaques d'insectes, prédateurs des fruits en particulier au stade juvénile.

Pour ce qui concerne la production feuillée de *Faidherbia albida*, 30 % des personnes interrogées tiennent les arbres inermes ou peu épineux comme les meilleurs pour leur bétail. Ces arbres sont plus fréquents en bas-fonds que sur les hauts de versant, marqués du caractère xérique. Ils sont naturellement mieux appétés bien que les épines ne constituent pas un obstacle majeur pour les animaux, surtout en période de soudure. 15 % des interlocuteurs disent que les vieux arbres ont des feuillages plus nourrissants que les jeunes, mais l'appréciation découle vraisemblablement de l'aspect quantitatif de la comparaison et, selon nos propres observations, du caractère inerme fréquent chez les gros arbres de bas-fonds *.

En définitive, il n'existe pas de critères vraiment discriminants, par le site ou l'individu, pour expliquer les variations quantitatives ou qualitatives de la biomasse feuillée. Celles-ci sont essentiellement liées aux modalités de l'émondage dont les principaux effets cités sont les suivants :

• Les coupes fortes répétées affaiblissent l'arbre mais, inversement, un arbre qui ne serait pas émondé pendant plusieurs années successives dépérira et, pour le moins, aura une médiocre production feuillée, à l'instar de ce qui est mentionné pour la production fruitière.

• Pour presque toutes les personnes interrogées, *Faidherbia albida* supporte très bien l'émondage chaque année, tant qu'il reste modéré (prélèvement de moins de 50 % du houppier), et une coupe forte tous les deux ans précisent certains.

Enfin, 25 % mentionnent que les feuilles de *Faidherbia albida* de Watinoma sont assez salées pour permettre de réduire ou d'éviter la cure de sel, indispensable aux animaux.

SUIVI DE L'ÉMONDAGE

• Intensité des pratiques d'un terroir à l'autre

Ainsi qu'il ressort du tableau III, p. 66, l'émondage n'affecte pas de la même façon, ni en nombre ni en intensité, les faidherbias de Dossi et de Watinoma.

A Watinoma, plus de 50 % des individus sont émondés chaque année contre 25 à 30 % à Dossi. L'analyse de l'intensité de l'émondage consolide l'écart entre les parcs :

• **Parmi les arbres émondés de Dossi**, neuf arbres sur dix le sont faiblement ; il est rare que les autres le soient fortement. A l'observation, les bouviers font tomber seulement quelques branches sur chaque arbre, à l'aide de très longues perches de bambou munies d'un crochet en fer. Ce mode d'ébranchage, discret, affecte peu l'architecture du houppier des arbres **.

• Une situation inverse prévaut à Watinoma où l'émondage des faidherbias varie de modéré à très fort. De plus, la fréquence des émondages y est beaucoup plus forte : la moitié des arbres émondés le sont deux, et parfois trois fois dans la saison, ce qui n'arrive jamais à Dossi. L'émondage est fait à la machette qui permet de faire tomber de grosses branches.

• Partie du houppier émondée et accessibilité

La partie du houppier émondée est liée à l'intensité et à la dimension de l'arbre. Les émondages les plus forts affectent les plus grands arbres. L'émondage des plus grands arbres affecte généralement les branches basses alors que les arbres moyens ou les plus petits ont la partie haute plus fréquemment émondée, pour des raisons évidemment liées à l'accessibilité. Celle-ci est facilitée pour les arbres les plus hauts par des encoches faites le long du tronc qui permettent d'accéder au houppier. A Watinoma, près de la moitié des faidherbias de bas-fonds et plus d'un quart sur les hauts de versant sont ainsi aménagés, surtout par les Peuls qui utilisent, par ailleurs, des échelles traditionnelles pour grimper aux arbres les plus hauts. A Dossi, rares sont les arbres marqués d'encoches, ce qui confirme la faible intensité de l'émondage et la faible présence des Peuls.

• Variation du taux d'émondage en fonction du site

Sur les deux terroirs, le taux d'émondage apparaît plus élevé sur les sites les plus proches du lieu de résidence des exploitants et de leur bétail :

• A Dossi, l'émondage est fréquent dans la partie centrale du parc et à la périphérie du village. Mais la plus faible accessibilité des collines qui dominent le village (« parc perché ») réduit à 12 % le taux d'émondage et il en va de même sur les plus hautes pentes du versant est.

* AUBREVILLE (1950) mentionne le cas de plusieurs espèces de la famille des Mimosaceae, tel *Acacia sieberiana,* qui deviennent inermes avec l'âge.

** Il est cependant surprenant de constater qu'un crochetage bien appliqué peut désarticuler d'assez grosses branches au niveau des points de rupture (fourches). Le bois est donc assez cassant.

TABLEAU III
Taux d'émondage, intensité et partie émondée de *Faidherbia albida* sur les parcs de Dossi et de Watinoma

Terroir	Site	Echantillon	Taux d'émondage % (3)	Intensité de l'émondage (%) (4)							Partie émondée (%) (5)			
				Faible	Modérée	Forte	Très forte	Nombre de fois/saison (%)			Bas	Haut	Inégal	Tout
								1	2	3				
DOSSI (1)	Versant ouest	250	27	87	11	2	0	100	0	0	62	30	7	1
	Centre	278	32	84	11	2	3	100	0	0	56	29	12	3
	Versant est	192	22	92	2	6	0	100	0	0	66	20	9	5
	Parc entier	720	27,5	87	9	3	1	100	0	0	60	27	11	2
WATINOMA (2)	Hauts de versant (village)	115	42	39	29	17	15	61	36	3	29	31	24	16
	Bas-fonds et bas de versant	145	60	40	27	20	13	47	50	3	35	22	24	19
	Parc entier	260	52	39	28	19	14	52	45	3	33	25	24	18

(1) = Données des saisons sèches 92-93 et 93-94, résumées en valeurs moyennes.
(2) = Données des saisons sèches 91-92, 92-93, 93-94, résumées en valeurs moyennes.
(3) = Nombre de faidherbias émondés/nombre total de faidherbias.
(4) = Intensité : faible (< 25 % houppier) ; modérée (25-50 %) ; forte (50-75 %) ; très forte (75-100 %).
(5) = Partie émondée : tout = totalité du houppier ; inégal = prélèvements inégalement distribués dans le houppier.

• A Watinoma, les faidherbias de bas de versant et de bas-fonds, à quelques kilomètres du village, sont émondés à 60 % contre 42 % sur les hauts de versant. Cette différence est essentiellement liée à la présence des Peuls qui résident en bordure de bas-fonds à Watinoma. Ils y sont les principaux exploitants des arbres et la pression d'émondage qu'ils exercent pour nourrir leurs troupeaux y est forte, renforçant localement celle qui est le fait des agriculteurs. Ces derniers concentrent leurs émondages sur les peuplements les plus proches du village et des enclos à bétail.

• L'émondage et la dimension de l'arbre

Comme il ressort de l'enquête réalisée auprès des Peuls de Watinoma, ce sont majoritairement les faidherbias adultes qui sont émondés, les plus gros l'étant presque tous.

A Watinoma comme à Dossi, et quel que soit le site, les faidherbias les plus petits, de circonférence < 50 cm sont très peu affectés par l'émondage mais la classe supérieure, 50-100 cm, contribue déjà pour une grande part aux prélèvements, bien que les houppiers de ces individus encore jeunes soient de faible dimension.

A Watinoma, sur les hauts de versant, c'est la classe 100-150 cm, la mieux représentée, qui fournit le plus d'émondages. Dans les bas-fonds et leurs bordures, c'est la classe 200-250 cm qui contribue le plus à l'émondage. Sur les deux sites, tous les gros arbres ou presque sont émondés (cf. figures 2 et 3). En fin de compte, si on exclut les plus petits arbres dont la biomasse feuillée est très faible, l'émondage touche à chaque saison 70 à 80 % de l'effectif « émondable ».

FIGURE 2
Emondage de *Faidherbia albida* sur les hauts de versant à Watinoma.

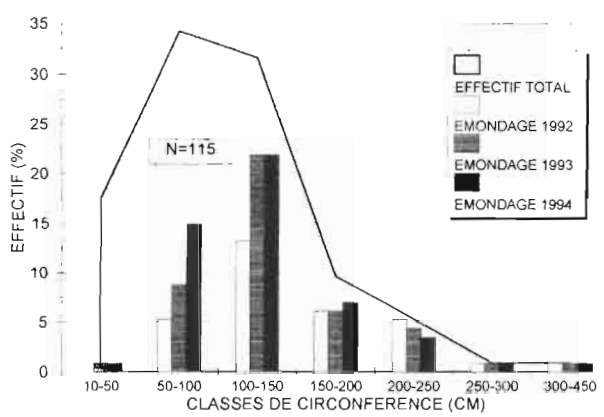
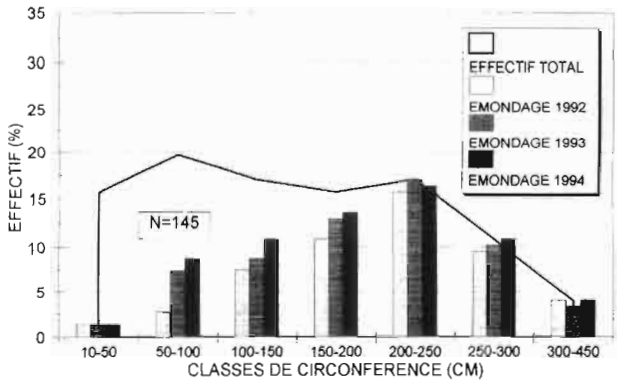


FIGURE 3

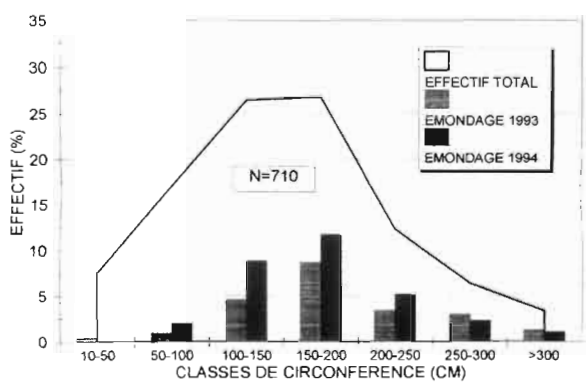
Emondage de *Faidherbia albida* sur les bas de versant et bas-fonds de Watinoma.



A Dossi, où la pression d'émondage est moins forte, la distribution des arbres émondés par classe de circonférence est plus équilibrée mais les plus gros arbres y sont aussi proportionnellement plus affectés (cf. figure 4).

FIGURE 4

Emondage de *Faidherbia albida* sur le parc de Dossi.



- **Fréquence et distribution de l'émondage au cours du temps**

La fréquence d'émondage est à Dossi très faible : d'une façon générale, la production feuillée des faidherbias dépasse largement les besoins fourragers de sorte que rares sont les arbres émondés plusieurs fois. A Watinoma, après trois saisons sèches, il ressort que 50 % des arbres de bas-fonds ont été émondés quatre à sept fois contre un quart seulement sur les hauts de versant, témoignant de l'intensité de l'émondage sur les sites où résident les Peuls.

A Watinoma, sur la seule période de trois années consécutives de suivi de l'émondage, on a enregistré une augmentation du taux d'émondage et de son intensité d'environ 35 % (cf. figures 2 et 3).

Quelle que soit la saison, c'est toujours entre le milieu et la fin de la saison sèche, en mars-avril, que l'émondage est appliqué sur le plus grand nombre d'arbres et avec le plus d'intensité, correspondant à la période d'affouragement la plus nécessaire.

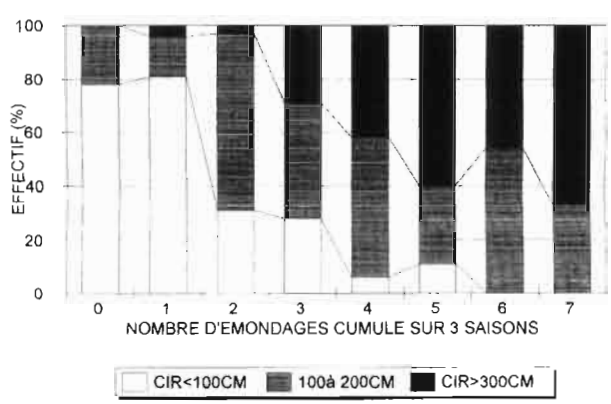
L'émondage est pratiqué jusqu'aux premières pluies et les animaux parcourent le parc à faidherbia tant que les semis des cultures n'ont pas été réalisés. Si le début de la saison agricole est retardé, la période d'émondage peut être prolongée d'un mois jusqu'à la fin juin comme ce fut le cas en 1993 ou, inversement, être écourtée à début mai lors de pluies hâtives, comme en 1994.

La plupart des arbres adultes ayant été émondés une première fois en février-mars, le bétail est en fin de saison sèche affouragé sur leurs repousses particulièrement appétées et d'une valeur nutritive élevée. Les faidherbias non émondés dans la saison portent alors de vieilles feuilles, dont les folioles chutent souvent avant les premières pluies et ne présentent alors plus guère d'intérêt fourrager *.

Enfin, sur les trois saisons sèches suivies à Watinoma, la fréquence de l'émondage apparaît bien corrélée à la dimension de l'arbre : plus l'arbre est gros, plus il est soumis à un nombre élevé de prélèvements : en moyenne deux fois par saison pour les individus de circonférence > 200 cm (cf. figure 5). Il est

FIGURE 5

Fréquence de l'émondage de *Faidherbia albida* comparée à Watinoma en fonction de la circonférence de l'arbre.



* Toutefois, les petits ruminants, les chèvres en particulier, ne négligent ni les feuilles mortes du faidherbia, ni celles d'autres espèces.

clair que les plus gros arbres, plus abondants en bordure de bas-fonds qu'ailleurs, fournissent une importante biomasse à la première coupe, puis au rabattage des repousses dans la saison. Ainsi, un gros individu de 300 m² de houppier permettrait-il, d'après les Peuls interrogés, de nourrir pendant 10 jours, selon les uns, 12 à 15 vaches ou encore, pour d'autres, 35 à 40 chèvres ou moutons *.

A Dossi, d'une année à l'autre, la pression d'émondage a peu changé. Le taux qui est passé de 25 à 30 % reste faible et toujours très modéré en termes d'intensité.

* L'évaluation de la charge animale faite par les personnes interrogées au pied des plus gros faidherbias de bas-fond (circonférence à 1,30 m > 3 m) représente un complément fourrager. *Faidherbia albida* ne constitue jamais l'aliment unique du bétail même s'il peut représenter une part majeure de la ration alimentaire à certaines périodes de l'année.

ÉVALUATION DE LA BIOMASSE FEUILLÉE ET DE L'APTITUDE À REJETER APRÈS ÉMONDAGE TOTAL

L'émondage total réalisé au cours des saisons sèches 1993 et 1994, à un an d'intervalle, montre que la biomasse sèche prélevée varie de 3 à 22 kg pour les petits arbres (50 à 150 cm de circonférence) et de 15 à 40 kg pour les plus grands (150 à 250 cm). Des variations importantes ressortent d'une station à l'autre, alors que les écarts sont relativement faibles pour les valeurs moyennes entre sites d'une même station. (cf. tableau IV).

Watinoma présente globalement des valeurs plus élevées que Dossi ; la différence tient largement au fait que les arbres de Watinoma ont des houppiers plus larges que ceux de Dossi, dont les circonférences des troncs sont cependant équivalentes. L'écart qui est plus grand au second émondage n'est cependant pas

TABLEAU IV
Emondage total de *Faidherbia albida* à Dossi et à Watinoma
Valeurs moyennes de la biomasse feuillée initiale de 1993 et de celle reconstituée après coupe en une année (1994) en fonction des différents sites d'étude et de la dimension des arbres

Parc	Site	ECH.	CLA.	SUR 93 (m²)	PSF 93 (kg)	PSF/SUR 93 (g/m²)	SUR 94 (m²)	PSF 94 (kg)	PSF/SUR 94 (g/m²)	Croissance des rejets entre les 2 coupes	
										LONG.	CIRC.
WATINOMA	Hauts de versant	5	1	56 ± 21	8 ± 4	134 ± 16	51 ± 20	10 ± 5	215 ± 47	191 ± 14	9,5 ± 1
		5	2	135 ± 71	38 ± 13	320 ± 93	103 ± 42	37 ± 11	380 ± 81	216 ± 24	10,5 ± 1
		10	1 + 2	95 ± 66	23 ± 18	227 ± 114	77 ± 42	23,5 ± 16	297 ± 106	204 ± 23	10 ± 1
	Bas de versant et bas-fonds	5	1	44 ± 17	9 ± 4	189 ± 35	41 ± 26	11,5 ± 7	285 ± 79	196 ± 33	10,5 ± 2
		5	2	222 ± 40	39 ± 10	177 ± 29	143 ± 27	46 ± 14	314 ± 56	230 ± 57	12,5 ± 3
		10	1 + 2	133 ± 94	24 ± 17	183 ± 33	92 ± 56	28,5 ± 20	300 ± 70	213 ± 50	11,5 ± 3
	Tous sites	20	1 + 2	114 ± 83	23,5 ± 17	205 ± 87	85 ± 51	26 ± 18	299 ± 90	209 ± 39	11 ± 2
DOSSI	Dépression périphérique	5	1 + 2	71 ± 32	18,7 ± 4	318 ± 123	64 ± 21	16,4 ± 2	287 ± 108	207 ± 38	4,5 ± 1
	Versant ouest	5	1 + 2	80 ± 48	20,6 ± 6	319 ± 117	78 ± 55	15,4 ± 5	264 ± 100	257 ± 68	5 ± 1
	Tous sites	5	1	39 ± 11	15,9 ± 4	424 ± 78	39 ± 11	13,6 ± 3	354 ± 87	249 ± 63	5 ± 1
		5	2	112 ± 25	23,4 ± 4	213 ± 22	113 ± 33	19 ± 4	182 ± 39	218 ± 56	4,5 ± 1
		10	1 + 2	75 ± 41	19,7 ± 5	318 ± 119	72 ± 44	15,8 ± 4	278 ± 111	235 ± 62	5 ± 71

ECH = Nombre d'arbres échantillonnés.

CLA. = Classe de circonférence à 1,30 m : 1 = 50 à 150 cm et 2 = 150 à 250 cm.

SUR = Projection au sol de la surface du houppier en m² = $\Pi \frac{D1*D2}{4}$; D1 et D2 = diamètres N-S et E-O du houppier, mesurés avant coupe.

PSF = Poids sec des feuilles, sans les tiges et rameaux (total récolté par arbre en kg).

PSF/SUR = Poids sec des feuilles rapporté à la projection au sol de la surface du houppier (g/m²).

LONG et CIRC = Longueur et circonférence à la base des rejets d'un an en cm (moyennes faites sur le nombre d'arbres échantillonnés avec 10 rejets par arbre).

± = Ecart-type à la moyenne

significatif en raison de fortes variabilités observées entre individus de mêmes classes de circonférence. Les arbres de Watinoma, aux productions équivalentes sur les hauts et bas de versant, ont presque tous bien répondu au second émondage total fournissant, pour la plupart des arbres, une biomasse feuillée sensiblement supérieure à celle de l'émondage précédent ou au moins équivalente (cf. figures 6 et 7). A Dossi, au second émondage, la plupart des productions feuillées ont chuté de 20 à 40 % (cf. figure 8). De plus, l'un des arbres est mort entre les deux émondages.

Une grande part de la variabilité apparaît directement liée à la dimension du houppier (projection au sol de sa surface). Les meilleurs régressions calculées pour la station de Watinoma et le site de haut de versant donnent le poids sec des feuilles (PSF) en fonction de la circonférence (CIR) et de la surface du houppier (SUR). Ainsi qu'il ressort du tableau V, p. 70, toutes les régressions de Watinoma, significatives, sont bien déterminées (r^2 = 0,89 à 0,97). Elles le sont moins bien à Dossi où, selon l'année, 60 à 80 % de la variabilité ne sont significativement expliqués que par la seule surface du houppier. Il en va de même des arbres de bas de versant de Watinoma où la circonférence, lorsqu'elle est associée à la surface du houppier, n'apparaît pas significative alors qu'elle est une variable explicative et significative de la biomasse feuillée rapportée à une régression simple. L'analyse montre donc que la corrélation entre la circonférence et la surface du houppier est dans ce cas médiocre. L'observation renvoie à l'émondage qui peut être la cause principale de la variabilité des dimensions du houppier de quelques individus. La tendance est d'ailleurs générale à Dossi comme à Watinoma quels que soient le site ou l'année ; il est plus facile de prédire la surface du houppier par la biomasse feuillée que par la seule circonférence.

La circonférence et la surface du houppier de l'arbre permettant de prédire la biomasse feuillée si l'on rapporte celle-ci au m^2 de houppier, on observe des différences :

• Pour les facteurs sites et émondage, entre les parcs de Watinoma et de Dossi, au premier comme au second émondage. Les différences s'inversent d'une saison à l'autre : 200 g/m^2 et 300 g/m^2 de houppier en 1993 et 1994 à Watinoma contre 320 et 280 à Dossi. Ces différences montrent globalement une meilleure aptitude des arbres de Watinoma à rejeter. D'une coupe à l'autre, ces différences ne sont significatives que sur les bas de versant de Watinoma, de fortes variabilités individuelles occultant les différences sur les autres sites.

FIGURE 8

Variation de la production feuillée à l'émondage total de dix faidherbias sur le parc de Dossi.

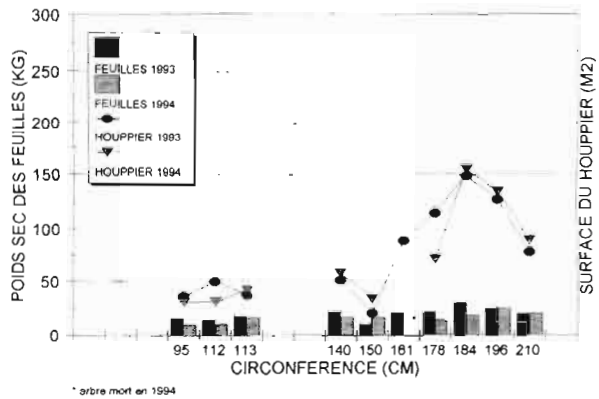


FIGURE 6

Variation de la production feuillée à l'émondage total de dix faidherbias à Watinoma sur les hauts de versant.

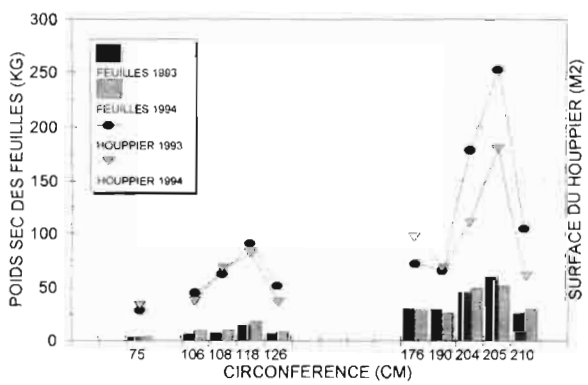


FIGURE 7

Variation de la production feuillée à l'émondage total de dix faidherbias à Watinoma sur les bas de versant.

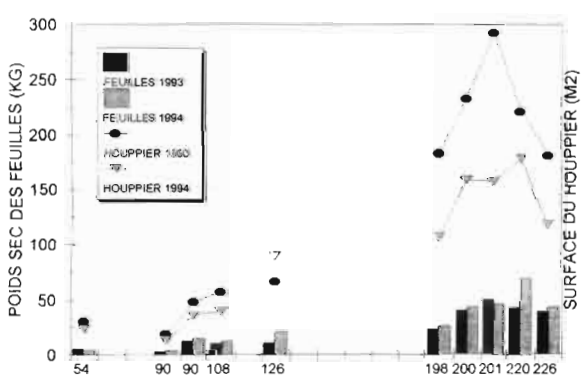


TABLEAU V
Equations de régression du poids sec des feuilles en fonction de la circonférence du tronc et de la surface du houppier de *Faidherbia albida* à Watinoma et à Dossi : émondage total de 1993 et 1994

Parc	Site	AN	ECH.	Equations de régression (*)	R^2	Intervalles de confiance (*)			P (***)
WATINOMA	Haut de versant	1993	10	Log PSF = 1,75 Log CIR + 0,56 Log SUR – 3,6	0,94	a = 1,75 ± 0,98	b = 0,56 ± 0,54	c = 3,6 ± 1,4	THS
		1994	10	Log PSF = 1,5 Log CIR + 0,65 Log SUR – 3,1	0,97	a = 1,5 ± 0,50	b = 0,65 ± 0,34	c = 3,1 ± 0,8	THS
	Bas de versant	1993	10	Log PSF = 0,99 Log SUR – 0,7	0,97	b = 0,99 ± 0,15	c = 0,7 ± 0,3		THS
		1994	10	Log PSF = 1,07 Log SUR – 0,7	0,94	b = 1,07 ± 0,22	c = 0,7 ± 0,4		THS
	Tous sites (**)	1993	20	Log PSF = 0,88 Log CIR + 0,69 Log SUR –2	0,89	a = 0,88 ± 0,74	b = 0,69 ± 0,38	c = 2 ± 1	THS
		1994	20	Log PSF = 1,02 Log CIR + 0,65 Log SUR – 2,1	0,92	a = 1,02 ± 0,54	b = 0,65 ± 0,31	c = 2,1 ± 0,8	THS
DOSSI	Tous sites	1993	10	Log PSF = 0,43 Log SUR + 0,51	0,79	b = 0,43 ± 0,18	c = 0,51 ± 0,33		THS
		1994	9	Log PSF = 0,37 Log SUR + 0,53	0,60	b = 0,37 ± 0,27	c = 0,53 ± 0,49		HS

AN = Année d'émondage réalisé au milieu des saisons sèches 93 et 94 à un an d'intervalle

ECH. = Nombre d'arbres de l'échantillon

PSF = Poids sec des feuilles en kg

CIR = Circonférence du tronc à 1,30 m en cm.

SUR = Projection au sol de la surface du houppier, en m^2, avec $SUR = \Pi * \frac{D1 * D2}{4}$ · D1 et D2 = Diamètres E-O et N-S du houppier

R^2 = Coefficient de détermination.

(*) Domaines d'application des régressions
— 20 à 250 cm pour la circonférence, quel que soit le site ;
— 25 à 300 m^2 pour la surface du houppier à Watinoma et 25 à 200 m^2, à Dossi ;
— pour un poids sec des feuilles de 3 à 70 kg à Watinoma et de 5 à 30 kg à Dossi

(**) Régressions très peu différentes de celles,non logarithmiques, pour lesquelles :
— en 1993, PSF = 0,13 CIR + 0,12 SUR – 10,2 (R^2= 0,88) ;
— en 1994, PSF = 0,13 CIR + 0,22 SUR -12,4 (R^2 = 0,91)

(***) P = Probabilité calculée au seuil de 95 % (THS · Très hautement significatif, HS Hautement significatif).

• Pour le facteur dimension de l'arbre : au sein de chaque site et pour les deux périodes d'émondage, entre les plus petits arbres (classe 1, de 50 à 150 cm de circonférence) et les plus grands (classe 2, de 150 à 250 cm) avec, en termes de productivité :

– petits arbres < grands arbres sur haut de versant à Watinoma,

– petits arbres = grands arbres sur bas de versant à Watinoma,

– petits arbres > grands arbres à Dossi.

La biomasse en feuilles correspond à environ 50 % de la biomasse totale prélevée (poids sec des feuilles et du bois des rameaux). Elle varie respectivement du premier au second émondage de :

• 43 % à 58 % de la biomasse totale à Watinoma ;

• 48 % à 52 % de la totale à Dossi.

La réitération de l'émondage total améliore donc le ratio biomasse feuillée/biomasse totale mais la tendance est plus marquée à Watinoma qu'à Dossi. Dans les deux cas, ce sont les plus petits arbres qui expriment les meilleurs ratios.

La mesure des rejets au second émondage montre :

• Une forte vigueur de croissance des rejets qui, sur tous les parcs, ont des allongements moyens de plus de 2 m, certains individus présentant des repousses de plus de 3 m en un an. Les valeurs entre individus de même dimension sont équivalentes d'un site à l'autre, notamment à Watinoma entre haut et bas de versant.

• Une reconstitution en conséquence rapide des houppiers : totale en surface pour les petits arbres et réalisée entre 60 à 90 % pour les plus grands arbres bien que, dans l'absolu, la croissance en longueur et en circonférence des rejets des petits et des grands arbres ne soit significativement pas différente à Dossi comme à Watinoma.

• Une différence significative sur le paramètre circonférence à la base des rejets entre les arbres de Dossi et ceux de Watinoma, la différence variant d'un facteur 2, ce qui confirme à nouveau la meilleure réponse de *Faidherbia albida* à l'émondage total sur ce terroir.

Enfin, l'émondage appliqué entre le milieu et la fin de la saison sèche engendre un décalage de deux à trois mois du cycle de feuillaison ; les arbres prennent les feuilles en début de saison des pluies, les perdent entre le milieu et la fin et se refeuillent avec un à deux mois de retard, pour la plupart, à la saison sèche suivante.

PRODUCTIONS FRUITIÈRES

- **Variabilité stationnelle, individuelle et intersaisonnière**

Mesurées sur deux saisons successives à Dossi et quatre à Watinoma, les productions fruitières montrent une très forte variabilité entre individus au sein d'une même saison et sur un même site mais également pour un même individu d'une saison à l'autre. Ce phénomène est particulièrement sensible à Watinoma où l'émondage affecte plus ou moins tous les arbres et perturbe manifestement la fructification (cf. tableau VI).

En première analyse, la comparaison des productions fruitières de Dossi et de Watinoma montre des différences hautement significatives, saison à saison comme pour l'ensemble des récoltes. Elles sont en moyenne par semencier de :

- 13,2 kg à Dossi (variant de 0,3 kg à 157 kg) ;
- 2,2 kg à Watinoma (variant de 0 kg à près de 23 kg).

A Watinoma, aucune relation significative liant la quantité de fruits produite et les dimensions de l'arbre

TABLEAU VI
Production fruitière de *Faidherbia albida* à Watinoma et à Dossi : variations en fonction du site et de la dimension des arbres de 1992 à 1995

Terroir	Site	Dimension des arbres (1)	ECH. (2)	VAL. (3)	Poids sec des fruits (kg)				
					1992	1993	1994	1995	Moy. 92-95
WATINOMA	Haut de versant	50 < CIR < 150 10 < HOU < 50	5	max. moy. min.	— — —	15,8 3,7 0,1	0,8 0,3 0,1	0,6 0,3 0	1,4
		150 < CIR < 250 50 < HOU < 150	5 (4)	max. moy. min.	1,3 0,6 0,1	0,3 0,2 0,1	2,2 0,7 0,1	6,4 1,5 0	0,7
	Bas de versant et bas-fond	50 < CIR < 150 10 < HOU < 50	5	max. moy. min.	— — —	0,5 0,3 0,1	0,8 0,2 0	2,2 1,0 0	0,5
		150 < CIR < 250 100 < HOU < 250	5 (4)	max. moy. min.	22,8 8,7 1,9	18,3 6,4 0,3	1,7 0,5 0,1	3,5 1,3 0,1	4,1
	Tous sites et dimensions		20	moy.	4,7	2,6	0,4	1,0	2,2
DOSSI	Tous sites	100 < CIR < 150	13	max. moy. min.	— — —	— — —	21,9 6,8 2,5	15,1 4,9 0,3	5,8
		150 < CIR < 200	13	max. moy. min.	— — —	— — —	39,2 17,3 7,1	19,1 7,0 0,9	12,2
		200 < CIR < 250	8	max. moy. min.	— — —	— — —	51,3 18,8 6,1	157,0 24,7 0,4	21,8
	Tous sites et dimensions		34	moy.	—	—	13,7	12,7	13,2

(1) CIR = Circonférence du tronc à 1,30 m, en cm
HOU = Projection au sol de la surface du houppier en m^2.
(2) ECH = Nombre d'arbres de l'échantillon, s'agissant des mêmes arbres récoltés d'une saison à l'autre.
(3) VAL = Valeurs pondérales maximales, minimales et moyennes.
(4) = Arbres non émondés lors des récoltes de février 1992 et 1993, puis totalement émondés, après récolte, en mars 1993, 1994 et 1995.

Production de gousses du meilleur faidherbia de Dossi en 1995 (157 kg... mais seulement 18 kg en 1994 !).

n'a pu être établie tant les variabilités sont fortes, avec des productions quasi nulles quelle que soit la dimension de l'arbre d'une saison à l'autre.

A Dossi, d'une façon générale, si les plus grands arbres sont les meilleurs producteurs, c'est la projection au sol de la surface du houppier qui apparaît comme la principale variable explicative de la production fruitière. La hauteur y contribue dans une moindre mesure alors que la circonférence n'améliore guère la relation (paramètre non significatif, comme on l'observe dans les équations de prédiction de la biomasse feuillée). Assez logiquement, ce sont les paramètres relatifs à la dimension du houppier qui déterminent au mieux la production fruitière.

Aussi, les meilleures régressions n'ont-elles pu être obtenues que sur la saison 1995 (cf. tableau VII) et pour la moyenne des productions 1994 et 1995, moyenne qui pondère les très fortes variations individuelles observées d'une saison à l'autre (jusqu'à 1 300 % pour un même semencier). On observe, cependant, que la moyenne des récoltes réalisées sur les 34 individus échantillonnés est sensiblement la même d'une saison à l'autre.

- **Effet de l'émondage sur la production de fruits**

La figure 9 illustre clairement l'effet d'un émondage de forte intensité appliqué au cours de la saison sèche par des exploitants de Dossi sur cinq arbres initialement échantillonnés pour leur houppier indemne de marques récentes d'émondage. La différence hautement significative entre les deux séries varie d'un facteur 1 à 10.

A Watinoma, on observe que les plus grands arbres qui sont généralement les plus émondés ont pour la plupart de très faibles productions fruitières. Ceci est expérimentalement confirmé par l'essai d'émondage

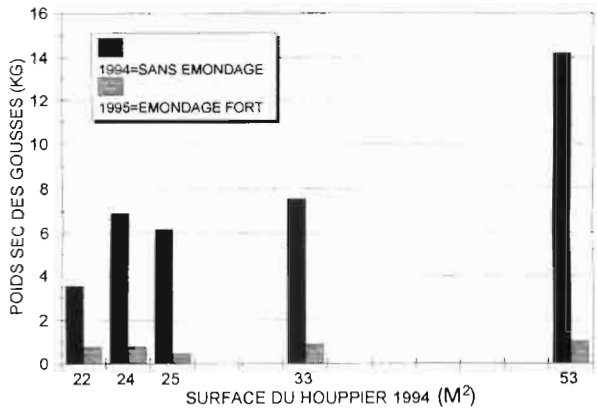
TABLEAU VII
Prédiction de la production fruitière de *Faidherbia albida* à Dossi en fonction de la surface du houppier et de la hauteur pour la récolte 1995 et la moyenne des récoltes 1994 et 1995

Echantillon	n = 34 (1995)	n = 34 (moyenne 94-95)
Equations de régression (1)	PSG = 0,30 SUR + 5 HAU – 67	PSG = 0,19 SUR + 2,7 HAU – 31
Coefficient de détermination (R^2)	0,73	0,86
Ecart-type résiduel (ETR)	14,8	5,9
Intervalles de confiance des coefficients de régression	SUR : 0,30 ± 0,14 HAU : 5 ± 3 Cte : 67 ± 32	SUR : 0,19 ± 0,06 HAU : 2,7 ± 1,2 Cte : 31 ± 13
Probabilités au seuil de 95 %	Très hautement significatif	Très hautement significatif

(1) = Toutes régressions significatives, calculées avec un risque $\alpha = 5$ %.
± = Ecart-type.
PSG = Poids sec des gousses en kg.
SUR = Projection au sol de la surface du houppier en m^2.
HAU = Hauteur des faidherbias en m.

FIGURE 9

Effet de l'émondage sur la production de fruits de cinq faidherbias à Dossi.



total appliqué sur cinq arbres de bas de versant de circonférence équivalente et au houppier initialement large (cf. tableau VIII). Mais, si les différences sont sur ce site significatives entre les valeurs pondérales « avant » et « après émondage total », il n'en va pas de même des cinq arbres échantillonnés sur haut de versant aux productions également faibles du début à la fin de l'essai.

Ces résultats laissent supposer qu'aux effets d'émondage s'ajoutent des effets de site importants. Mais on peut se demander si des arrière-effets d'émondages antérieurs à l'essai ne sont pas à l'origine de cette faible production fruitière.

COMPOSITION CHIMIQUE ET DÉGRADABILITÉ ENZYMATIQUE DES FEUILLES ET GOUSSES DE *FAIDHERBIA ALBIDA*

Afin de réunir le maximum de données sur la composition des feuilles et gousses de *Faidherbia albida,* les résultats d'analyse d'échantillons collectés dans d'autres pays et étudiés dans le cadre du projet CCE-DGXII ST2.A/89/215. F (CIRAD-EMVT *et al.* 1994) ont été associés à ceux de Watinoma et Dossi.

L'examen global des compositions chimiques et des dégradabilités enzymatiques des feuilles et gousses de *Faidherbia albida* (cf. tableau IX, p. 74) met en évidence des différences dont certaines inattendues :

- Les gousses contiennent plus de fibres que les feuilles, mais les parois des feuilles sont plus lignifiées.

- Les teneurs en matières azotées des feuilles sont un peu plus élevées mais elles sont moins disponibles que celles des gousses, ce qu'il faut relier à des teneurs en tanins plus importantes et à une plus forte proportion de l'azote au niveau des parois cellulaires dans les feuilles.

- Globalement, la matière organique des gousses est plus digestible que celle des feuilles et a donc une valeur énergétique (estimée ici en énergie métabolisable) plus élevée.

Ces observations très générales ne doivent pas occulter une forte variabilité (cf. les écart-types) à l'intérieur de chaque groupe d'échantillons.

Les tableaux X et XI (pp. 75 et 76) tentent de mettre en évidence des différences liées au pays d'origine, à la date de récolte et à la situation topographique. Certaines apparaissent clairement comme la plus forte teneur en MAT en début de feuillaison (16 % de MS de

TABLEAU VIII

Variation de la production fruitière de dix *Faidherbia albida* sur les sites de haut et bas de versant de Watinoma en fonction du facteur émondage total appliqué en deux saisons successives

Site	Circonférence du tronc (cm)	Surface du houppier (m^2)	PSG avant émondage total (kg)		PSG après émondage (kg)	
			Moyenne 1992	Moyenne 1993	Moyenne 1994	Moyenne 1995
Bas de versant	209 ± 12	167 ± 40	8,7 ± 8,0	6,4 ± 7,3	0,5 ± 0,1	1,3 ± 0,2
Haut de versant	196 ± 13	83 ± 37	0,6 ± 0,5	0,2 ± 0,1	0,7 ± 0,8	1,5 ± 2,5

PSG = Poids sec des gousses.
± = Ecart-type.

TABLEAU IX
Composition chimique et dégradabilité enzymatique ou *in vitro* des feuilles et gousses de *Faidherbia albida* échantillonnés dans le cadre du projet CCE-DGXII ST2/215

En % de la Matière Sèche, sauf : * % de la Matière Azotée ** % de la Matière Organique *** % kcal/kg MS	Feuilles et tiges					Gousses et graines				
	Ensemble des échantillons					Ensemble des échantillons				
	Moy.	E.T.	Min.	Max.	N	Moy.	E.T.	Min.	Max.	N
Analyses et dégradabilité au laboratoire										
Matière Organique	90	2	85	94	43	96	0	94	97	42
Constituants pariétaux										
• Neutral Detergent Fiber (NDF)	39	4	31	49	32	45	7	37	67	15
• Acid Detergent Fiber (ADF)	29	4	20	40	42	34	4	25	42	35
• Acid Detergent Lignin (ADL)	14	3	8	22	42	9	1	6	12	35
• ADL/ADF %	48	5	35	55	42	26	3	21	32	35
Matières Azotées										
• Totales (MAT)	13	2	10	18	43	11	2	6	15	42
• Dégradables par la Pronase	3,3	0,8	1,9	6,9	40	6,7	1,7	2,4	10,5	31
• Dégradables par la Pronase*	26	8	14	66	40	63	13	41	99	31
• Liées à l'ADF (MAadf)	2,7	0,8	1,6	5,2	41	1,1	0,3	0,7	1,7	33
• Liées à l'ADF*	22	5	10	34	41	11	3	6	19	33
Tanin précipitant la séroalbumine bovine	2,8	1,3	0,4	4,5	9	0,7	0,3	0,2	1,3	11
Matière Grasse	5,8	1,8	0,4	10	42	1,3	0,6	0,7	4,9	41
Dégradabilité de la Matière Organique										
• Par la Pepsine Cellulase	52	5	34	60	20	63	3	58	69	12
• Estimée *in vitro* par le gastest** (STEINGASS, ARBELOT, 1994)	48	6	38 (1)	55	12	60	9	49	84 (2)	10
Energie métabolisable (STEINGASS, ARBELOT, 1994)	1 570	270	1 090 (1)	1 900	12	2 050	390	1 600	3 050 (2)	10
• Estimée *in vitro* par le gastest ***										

E.T. = Ecart-Type
N = Nombre d'arbres de l'échantillon.
(1) = Tiges chlorophylliennes
(2) Graines

novembre à janvier en moyenne, avec des maxima de 18 %, contre 11 à 14 % de février à avril).

D'autres, plus sensibles, méritent d'être approfondies comme une teneur en MAT un peu plus faible et une teneur en lignine plus élevée en bas de pente qu'en haut de pente, sur la station de Watinoma.

Les gousses (cf. tableau XI, p. 76) sont disponibles sur une durée plus brève que les feuilles et la comparaison de périodes est sans objet. La comparaison des pays d'origine des prélèvements ne permet pas non plus de constituer des groupes homogènes.

En fait, une grande partie des écarts entres échantillons doit être due à des différences de composition anatomique :

• Les tiges chlorophylliennes (cf. tableau X), en proportions variables dans les échantillons de feuilles *sensu lato*, sont plus riches en fibres mais aussi en azote que les feuilles *stricto sensu* et leur azote est moins disponible alors que leur teneur en tanin est apparemment plus faible (un seul échantillon).

• Les pulpes et les graines qui constituent les gousses ont des compositions très différentes : les fibres et les tanins sont surtout localisés dans la pulpe, alors que les graines contiennent la majeure partie de l'azote et sont très digestibles (cf. tableau XI).

Il est évident que les variations de proportions de limbes et de tiges, d'une part, de pulpe et de graines, d'autre part, influencent fortement la composition des échantillons ou des fourrages ingérés par les animaux. Ces proportions dépendent certes de facteurs génétiques, mais aussi de facteurs du milieu qui déterminent le développement des plantes et, enfin, du comportement de l'animal... ou de celui qui prélève les échantillons.

Ces exemples montrent combien les échantillons doivent être constitués et décrits avec précision pour que leur analyse fournisse une information optimale. Ils montrent aussi que l'échantillonnage doit être d'autant plus minutieux que l'objectif est fin : c'est le cas, par exemple, pour la recherche d'une variabilité génétique des espèces utilisées en agroforesterie.

TABLEAU X

Composition chimique et dégradabilité enzymatique de feuilles et tiges chlorophylliennes de *Faidherbia albida* suivant le mois de récolte, le pays et, pour le Burkina Faso, la station et la situation topographique

En % de la Matière Sèche sauf : * % de la Matière Azotée ** % de la Matière Organique	Feuilles														Tiges chloro-phyliennes
	De novembre à janvier		Février				Mars		Avril						Janvier
	Sénégal Mali Burkina Tchad		Burkina Faso (1)				Sénégal Burkina Tchad		Burkina Faso (1)						Tchad
			Watinoma						Dossi		Watinoma				
			Haut de versant		Bas de versant						Haut de versant		Bas de versant		
	Moy.	E.T.	Moy.	E.T.	Moy.	E.T.	Moy.	E.T.	Moy.	E.T.	Moy.	E.T.	Moy.	E.T.	Moy.
Analyses et dégradabilité au laboratoire															
Nombre d'échantillons	6		5		5		4		10		5		5		1
Matière Organique	91	2,1	89	2,7	90	1,1	90	1,1	88	1,1	89	1,5	90	0,5	90
Constituants pariétaux															
• Neutral Detergent Fiber (NDF)	40	3,0	39	5,5	39	2,9	41	7,3			37	1,9	38	1,6	61
• Acid Detergent Fiber (ADF)	27	5,6	27	3,8	30	2,1	30	8,0	27	2,8	28	3,3	30	1,7	57
• Acid Detergent Lignin (ADL)	12	3,6	12	2,8	15	1,5	15	5,0	14	1,7	13	1,8	16	1,1	34
• ADL/ADF %	42	5	49	2	50	2	50	4	50	3	47	3	52	2	60
Matières Azotées															
• Totales (MAT)	16	2,2	13	0,8	12	1,1	14	2,1	12	0,9	12	0,7	11	0,7	18
• Dégradables par la Pronase*	22	3,4	26	3,8	25	6,0	20	5,4			28	1,2	27	3,0	16
• Liées à l'ADF* (MAadf)	18	5,7	18	2,1	23	2,7	25	11	22	2,1	19	3,5	25	2,1	47
Tanin précipitant la séroalbumine bovine	2,9	1,2			52	2,0	2,9	0,8							0,5
Dégradabilité de la Matière Organique															
• par la Pepsine Cellulase**	50	2,2					48	10			54	4,3			26
• estimée *in vitro* par le gastest**	52	3,7					48	6,6							40

(1) = Echantillons prélevés sur essais d'émondage total.
E.T. = Ecart-type.

TABLEAU XI

Composition chimique et dégradabilité enzymatique de gousses, de pulpe et de graines de *Faidherbia albida* suivant le pays et, pour le Burkina Faso, la station et la situation topographique

En % de la Matière Sèche sauf : * % de la Matière Azotée ** % de la Matière Organique	Gousses sèches (1)						Gousses sèches Moyennes par pays									Pulpe des gousses (sans graines)	Graines
	Burkina Faso																
	Watinoma				Dossi		Burkina		Mali		Niger		Sénégal		Tchad	Mali	
	Haut de versant		Bas de versant														
	Moy.	E.T.	Moy.	E.T.	Moy.	E.T.	Moy.	E.T.	Moy.	E.T.	Moy.	E.T.	Moy.	E.T.	Moy.	Moy.	
Analyses et dégradabilité au laboratoire																	
N maximum	5		5		10		21		3		4		12		1	1	1
Matière Organique	96	0,2	96	0,1	96	0,6	96	0,6	96	0,4	96	0,2	96	0,4	96	95	96
Constituants pariétaux																	
• Neutral Detergent Fiber (NDF)							48				67		43	1,8	37	44	21
• Acid Detergent Fiber (ADF)	31	4,2	32	2,4	36	3,8	34	4,0			42		34	1,7	28	35	16
• Acid Detergent Lignin (ADL)	8	1,0	9	1,1	9	1,9	9	1,6			9		9	1,0	7	9	4
• ADL/ADF %	25	1	18	2	25	3	26	3			21		28	3	24	26	27
Matières Azotées																	
• Totales (MAT)	11	1,2	11	1,0	10	2,2	10	1,7	11	0,2	13	1,4	11	0,5	11	6	27
• Dégradables par la Pronase*	58	1,9	53	6,3	74	14	62				65		60	12	69	42	71
• Liées à l'ADF* (MAadf)	9	2,1	10	2,2	11	3,6	10	3,1					11	2,5	7	19	5
Tanin précipitant la séroalbumine bovine							0,6						0,7	0,4	1,1	0,8	0
Matière Grasse	1,3	0,2	1,2	0,1	1,1	0,2	1,2	0,2	1,4	0,0	2,2	1,8	1,0	0,2	1,3	2,5	2,5
Dégradabilité de la Matière Organique																	
• par la Pepsine Cellulase**							58						63	2,0	69	63	92
• estimée *in vitro* par le gastest**							56		63				55	3,8	60	5	84

(1) = Echantillons récoltés en février 1993 à Watinoma et mars 1993 à Dossi
E.T. = Ecart-Type

COMPOSITION MINÉRALE DES FEUILLES, FRUITS ET RAMEAUX

A l'instar des valeurs résultant des analyses bromatologiques, celles des teneurs en éléments minéraux de feuilles, fruits et tiges chlorophylliennes montrent dans l'ensemble une faible variabilité entre sites et, dans une moindre mesure, entre les stations de Dossi et de Watinoma (cf. tableau XII).

L'analyse révèle les caractéristiques suivantes :

• Les teneurs moyennes en éléments minéraux sont généralement faibles se situant en deça ou en limite des seuils de carence (IEMVT, 1990), pour :

• Le phosphore, élément constituant avec l'azote le principal facteur limitant de la nutrition des ruminants tropicaux (seuil à 2 g/kg de M.S.). Bien que les teneurs soient significativement plus élevées pour les fruits que pour les feuilles, elles dépassent le seuil de 2 g/kg de M.S. seulement pour quelques arbres.

• Le zinc dont les teneurs des feuilles et des tiges chlorophylliennes sont pour quelques arbres de bas de versant au-dessus du seuil de carence (45 mg/kg de M.S.).

• Le cuivre, pourvu en teneur suffisante uniquement dans les feuilles des arbres de bas de versant et de bas-fonds (7 mg/kg de M.S.).

• Le sodium dont la teneur des feuilles et surtout des fruits est insuffisante, contrairement à l'opinion des éleveurs (seuil à 0,6 g/kg de MS).

• Le manganèse, dont les fruits et les rameaux sont carencés, alors que les feuilles ont une teneur très supérieure au seuil de carence (45 mg/kg de M.S.). Mais le manganèse comme le fer (très excédentaire dans les feuilles, rameaux et fruits de faidherbia, seuil

TABLEAU XII
Composition des feuilles, fruits et rameaux chlorophylliens de *Faidherbia albida* sur les différents sites de Watinoma et de Dossi
en g/kg ou en mg/kg de la matière sèche

Organe	Station	Site	ECH	N g/kg	P g/kg	K g/kg	Ca g/kg	Mg g/kg	Na g/kg	Cl g/kg	S g/kg	B mg/kg	Fe mg/kg	Cu mg/kg	Mn mg/kg	Zn mg/kg
FEUILLES	Watinoma	Haut de versant	10	23,6 1,3	1,0 0,1	8,3 0,8	21,5 3,0	2,8 0,6	0,14 0,02	0,08 0,01	1,7 0,2	19 8	1 054 475	5,0 1,6	88 24	32 6
		Bas de versant	10	25,2 1,5	1,1 0,1	9,5 1,7	19,9 3,1	3,4 0,7	0,16 0,04	0,07 0,02	1,7 0,1	50 20	1 508 686	10,3 4,6	158 67	38 12
	Dossi	Versant ouest	5	22,2 1,8	0,8 0,1	6,0 1,3	30,5 5,2	4,7 0,7	0,15 0,03	0,10 0,03	1,7 0,3	23 10	602 184	7,4 1,9	85 18	28 10
		Centre	4	21,5 1,4	1,1 0,2	6,8 1,3	33,2 2,9	5,2 1,3	0,15 0,02	0,10 0,02	1,7 0,4	60 26	852 718	10,0 4,2	58 24	39 5
RAMEAUX	Watinoma	Haut de versant	5	16,9 1,2	1,3 0,1	9,3 1,0	25,6 4,3	3,1 0,5	0,09 0,01	0,06 0,01	2,2 0,6	20 2	271 48	4,6 0,3	21 5	29 6
		Bas de versant	5	17,3 1,4	1,2 0,1	10,0 2,3	19,3 6,9	3,6 0,9	0,07 0,01	0,04 0,01	1,5 0,6	21 2	256 101	5,5 0,9	30 17	36 8
FRUITS	Watinoma	Haut de versant	10	16,4 2,2	1,5 0,3	14,0 1,6	4,4 1,2	1,1 0,3	0,06 0,01	0,05 0,01	1,8 0,7	18 3	259 178	4,3 0,8	19 6	17 3
		Bas de versant	10	18,4 2,2	1,4 0,2	13,3 1,5	5,1 1,1	1,5 0,3	0,06 0,01	0,05 0,01	1,9 0,5	26 7	141 32	5,6 0,9	31 11	18 4
	Dossi	Centre	7	18,4 2,5	1,4 0,3	11,1 1,1	5,3 1,4	1,6 0,4	0,05 0,00	0,07 0,01	1,8 0,4	26 6	110 40	4,8 0,8	8 2	16 3
		Bas de versant ouest	7	16,8 1,6	1,4 0,3	11,5 1,5	5,7 1,6	1,7 0,5	0,06 0,01	0,07 0,02	2,2 0,6	25 6	121 39	5,7 1,7	10 2	19 8
		Versants est et ouest	7	18,6 2,2	1,4 0,2	11,8 1,8	5,2 0,9	1,5 0,4	0,06 0,01	0,08 0,03	1,9 1,0	25 7	87 25	6,1 1,2	14 4	25 6

Analyses faites par le Laboratoire CIRAD-GERDAT/URA.
Toutes valeurs assorties de l'écart-type.

limitant à 2 mg/kg de M.S.) sont généralement largement disponibles dans les divers fourrages dont se nourrissent les animaux.

• Sont en teneurs élevées ou supérieures aux seuils de carence, dans les feuilles, les fruits et les tiges chlorophylliennes :

• le soufre (1,3 g/kg de M.S.) ;

• le magnésium (0,7 g/kg de M.S.) et le potassium (3,2 g/kg de M.S.), oligo-éléments non limitants dans les fourrages sahéliens pour les besoins des animaux tels qu'ils sont élevés.

LE BOIS, UN SOUS-PRODUIT DE L'ÉMONDAGE D'IMPORTANCE INÉGALE À DOSSI ET WATINOMA

La rareté des ressources ligneuses, mais aussi le mode et l'intensité de l'émondage de *Faidherbia albida* à Watinoma, font de son bois un sous-produit apprécié en particulier par les Peuls, les principaux exploitants.

Les branches sont surtout utilisées comme bois de feu et les plus épineuses servent parfois à constituer des tapades de parc à bétail ou des haies mortes pour protéger des cultures.

A Dossi, le bois issu de l'émondage des faidherbias n'est pas toujours utilisé. Le bois est en brousse encore très abondant et les multiples espèces exploitées en bois de feu ou de service sont de meilleure qualité que le bois du faidherbia. Dans tous les cas, l'émondage qui est modéré ne fournit que de médiocres quantités de bois. Hormis quelques grosses branches, le petit bois est souvent laissé au sol où il est vite attaqué par les termites. Les restes sont rassemblés et brûlés lors du nettoyage des champs. Toutefois, certains exploitants ramassent ce bois qu'ils apprécient pour allumer le feu de la cuisine ou encore pour en tirer, à partir des cendres, de la potasse destinée à divers usages culinaires.

Le sous-produit bois revêtant une assez grande importance à Watinoma, nous avons fait une évaluation des quantités sur un émondage total. Mais cette exploitation, faite sur un mode traditionnel, n'a pu être standardisée à une découpe du bois selon une dimension donnée. Aussi, l'évaluation faite des bois enstérés et pesés n'est-elle qu'indicative. Les branches abattues sont celles qui portent des rameaux feuillés et rarement des branches maîtresses ; celles-ci portent la structure du houppier et constituent bien évidemment la plus grande quantité de bois.

La figure 10, qui représente les quantités produites à l'émondage en 1993 et 1994 de 22 faidherbias petits et grands, revèle les points suivants :

• Les valeurs pondérales varient beaucoup selon la dimension des arbres. Les moyennes varient de 1993 à 1994 de :

• 40 à 30 kg pour les arbres de 50 cm < C < 150 cm (C : circonférence à 1,30 m) ;

• 80 à 130 kg pour les arbres de 150 < C < 250 cm.

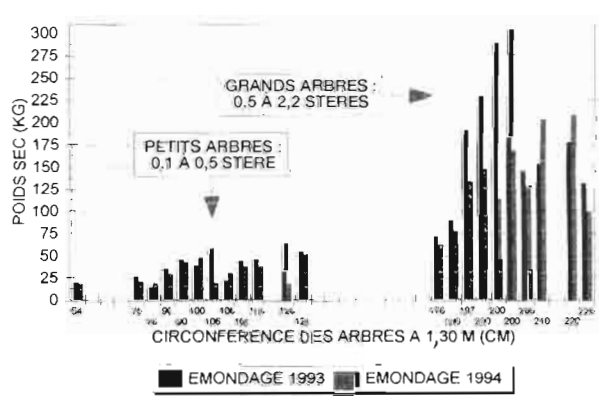
• Les arbres, au second émondage, fournissent globalement et très logiquement moins de bois à l'exception de quelques individus sur lesquels des branches maitresses ont été abattues, qui s'ajoutent aux repousses de l'année et aux extrémités de branches qui les portent.

• L'enstérage effectué avant pesée pour chaque arbre émondé donne une moyenne de 0,2 à 0,3 stères pour les petits arbres et de 1 à 1,3 stères pour les grands arbres, soit respectivement 127 et 141 kg par stère, ce qui est très faible. La raison en est que, vraisemblablement, le bois débité est de petite section et rarement droit. Le coefficient d'empilage des bois est en conséquence faible (sans doute < 0,5). De plus, les rameaux et les petits bois enstérés, médiocrement lignifiés et donc moins denses que les grosses branches, contribuent à diminuer le rendement pondéral du stère.

• La comparaison par site des quantités de bois produites donne l'avantage aux individus de bas de versant (en moyenne 102 kg contre 77 kg, les séries d'arbres ayant les mêmes dimensions). Bien que l'observation n'ait pas de signification statistique, elle correspond bien aux conditions de sites qui diffèrent entre haut et bas de versant.

FIGURE 10

Bois tiré de l'émondage total de *Faidherbia albida* à Watinoma à un an d'intervalle.



Sur la base de ces estimations, 100 kg pour l'émondage total d'un arbre « moyen » et 50 pour un émondage qui toucherait la moitié du houppier, en considérant qu'un arbre sur deux est émondé * et en prenant une densité moyenne ** de 4 arbres/ha, on peut estimer que la quantité de bois produite à l'émondage est à Watinoma de l'ordre de 100 à 200 kg/ha/an.

Cette quantité de bois, faible dans l'absolu, est loin d'être négligeable dans le contexte de précarité des ressources de Watinoma. Même avec l'évaluation la plus basse, les quelques centaines de kilos de bois de faidherbia collectés sur les quelques hectares de parcs dont disposent la plupart des exploitations peuvent constituer un appoint apprécié en bois de feu ***, de l'ordre de 10 à 20 % des besoins en combustible d'une famille.

DISCUSSION ET CONCLUSION

- ***Faidherbia albida* supporte bien un émondage modéré**

Les terroirs de Dossi et de Watinoma diffèrent par leur ressources fourragères ; encore très importantes sur le premier terroir, elles sont limitées sur le second car la charge de bétail est beaucoup plus élevée ; en conséquence, la surexploitation de *Faidherbia albida* est à Watinoma la règle, alors qu'à Dossi la pratique de l'émondage est peu étendue et presque toujours de faible intensité. Les Peuls, aujourd'hui, en concurrence avec les agriculteurs, gardent un large savoir-faire en matière d'émondage. La période et l'intensité de coupe, en particulier, ont des effets parfaitement reconnus sur les productions feuillées et fruitières alors que les effets des facteurs climatiques et phytosanitaires demeurent imprédictibles. Une large part de la variation des productions peut leur être attribuée.

Le suivi de l'émondage des faidherbias a montré que les arbres adultes étaient partout les plus émondés. Cependant, à Watinoma, même les jeunes arbres le sont. Les prélèvements y sont forts et répétés, en moyenne deux fois dans la saison.

Malgré la fréquence et l'intensité d'émondage, *Faidherbia albida* survit bien et rejette vigoureusement. L'espèce est donc très plastique en matière d'émondage. A comparer les résultats de Dossi et de Watinoma, il semblerait même qu'une relation existe entre, d'une part, l'intensité et la fréquence de l'émondage et, d'autre part, la vigueur à rejeter. C'est ce que rapporte CISSE (1984) à travers cinq ans d'essais d'émondage de l'espèce en concluant que « les coupes répétées stimulent la production foliaire ». C'est ce que disent, par ailleurs, les exploitants pour lesquels un faidherbia non émondé plusieurs années consécutives à terme produit moins et dépérit.

CISSE spécifie, de plus, une condition aux émondages réitérés : il faut couper tôt dans la saison et au plus une fois par an au risque d'engendrer des mortalités. Pour les Peuls de Watinoma, les coupes fortes affaiblissent l'arbre ; un seul émondage, modéré chaque année, est préconisé mais, dans les faits, ce précepte est toujours dépassé. Quant à couper tôt dans la saison, la pratique n'a pas d'application quand les besoins s'étalent entre le milieu et la fin de saison sèche.

Si les enquêtes n'ont pas identifié de critères d'évaluation discriminant les variations quantitatives et qualitatives de la biomasse feuillée en fonction de l'arbre et du site, elles ont cependant révélé que les exploitants reconnaissaient des faidherbias inermes en bas de versant, mieux appétés qu'ailleurs ; ce sont souvent les arbres les plus grands et les plus âgés. Mais les émondages qui « rajeunissent » **** plus ou moins périodiquement les arbres perturbent, semble t-il, la permanence du caractère inerme tout comme ils modifient la phénologie de l'arbre. Par voie de conséquence, la valeur nutritive des feuilles et les quantités produites sur émondages successifs peuvent beaucoup varier. Elles mériteraient d'être précisées par une étude approfondie sur le sujet.

La production feuillée mesurée sur émondage total apparaît bien corrélée à la surface du houppier et, de

* Les plus jeunes arbres sont rarement émondés mais la plupart des adultes le sont deux fois dans la saison.

** La densité varie considérablement d'un site à l'autre (3 pieds/ha sur bas de versant et bas-fonds et 8 sur haut de versant) et surtout d'une parcelle à l'autre (sans faidherbia et jusqu'à 50 pieds/ha sur un même site).

*** Le pouvoir calorifique du bois de *Faidherbia albida* est élevé : 4 720 kcal (C.T.F.T., 1988). Il l'est sans doute moins pour le petit bois tiré de l'émondage (ce petit bois « brûle vite et chauffe mal » disent certaines femmes alors qu'à Dossi on trouve que les bois de faidherbia dégage beaucoup de fumée). Le problème principal, lié à son utilisation, est celui de sa conservation. Dès qu'il est sec, le bois est souvent attaqué par les termites et rendu inutilisable en quelques mois ; aussi est-il rarement stocké.

**** Le fait de couper le tronc ou les branches d'un arbre âgé fait naître des rejets qui ont certains caractères (feuilles, épines...) d'un arbre jeune. On parle de rajuvénilisation ou de rajeunissement.

fait, une réduction de ce dernier hypothèque la production, qui est moins bonne à Dossi qu'à Watinoma. Les arbres de Watinoma, la station la plus sèche *, rejettent plus vigoureusement et produisent globalement une biomasse plus importante que ceux de Dossi au second émondage.La réserve en eau du sol n'est donc pas un facteur limitant à Watinoma. On peut ici émettre l'hypothèse que l'émondage, omniprésent à Watinoma et qui prolonge la feuillaison des faidherbias jusqu'au milieu de la saison des pluies, est à l'origine des différences observées.

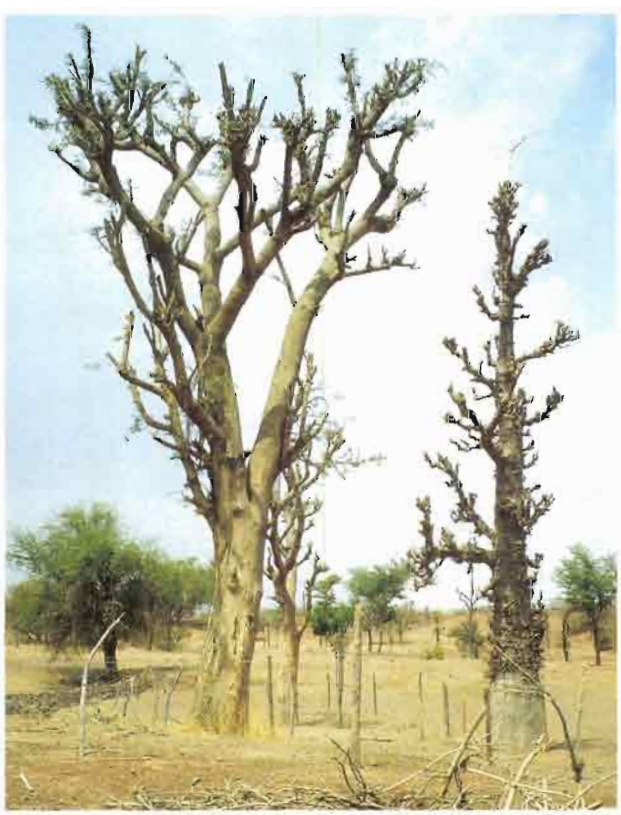
En saison des pluies, le taux d'humidité de l'air alors optimal est favorable à une refeuillaison rapide et intense.

* Ndlr. La notion de « sécheresse » concerne ici la pluviométrie mais pas l'alimentation en eau souterraine.

Les arbres de Watinoma sont ainsi régulièrement émondés et ce traitement répété ne nuit pas à leur vigueur de croissance, ni à leur aptitude à rejeter, bien au contraire. L'émondage, d'après nos observations, peut en outre avoir des effets sanitaires par l'élimination des branches malades ou dépérissantes inaptes à bien se feuiller.

- **Les modestes quantités de feuilles provenant de l'émondage constituent un complément fourrager indispensable**

La biomasse en feuilles produite en un an varie, selon la dimension de l'arbre, de 5 à 40 kg de matière sèche ; cette valeur est assez faible mais elle est conforme à d'autres résultats cités. LE HOUEROU (1980) évalue à 12 à 20 kg/an la production feuillée d'un faidherbia émondé et à 50 à 100 kg celle d'un faidherbia non émondé. MIEHE (1986), en Ethiopie,



Essai d'élagage total d'un faidherbia à Watinoma (remarquer aussi le baobab défeuillé, dont les feuilles servent à la consommation des paysans).

...Le même arbre, un an plus tard et sous un angle différent : on voit que ses branches ont vigoureusement rejeté (circonférence du tronc du faidherbia : 1,9 m ; production de feuilles en poids sec : 30 kg en 1993, 25 kg en 1994, 31 kg en 1995).

avance le chiffre de 20 à 50 kg/an pour un arbre émondé. Quant à JUNG (1967), au Sénégal, il à évalué la production feuillée annuelle d'un faidherbia adulte, vraisemblement non émondé, à 25 kg de matière sèche/100 m^2 de houppier par la mesure de la restitution au sol de la litière feuillée.

Nos résultats recouvrent également ceux de DUNHAM (1989) qui a mesuré la production feuillée et la litière restituée au sol de 26 arbres sur 2 ha le long du Zambèze. La production feuillée moyenne par arbre et par an a été évaluée à près de 400 g de matière sèche/m^2 de houppier et la litière de feuilles à près de 250 g, la différence résultant d'un prélèvement important par des chenilles défoliatrices. Selon nos propres observations, de telles chenilles et divers insectes font également à Watinoma et à Dossi d'importants ravages sur les feuilles et les fruits, réduisant certaines années les quantités et les qualités fourragères pour le bétail. Cet aspect est souvent ignoré alors qu'il peut être déterminant pour les productions fourragères de l'espèce.

A Watinoma, si l'on ajoute à la biomasse tirée d'un premier émondage celle supplémentaire d'un second émondage de saison sèche et la biomasse des rameaux chlorophylliens consommés par le bétail, le disponible fourrager annuel en feuilles et rameaux ne dépasse sans doute pas 50 à 100 kg de matière sèche/arbre/an. Avec une densité moyenne de 4 faidherbias/ha à Watinoma, on obtient une productivité d'au plus 1 à 200 kg de matière sèche/ha/an, en considérant que tous les arbres ne sont pas émondés ou ne le sont pas totalement.

Si les productions feuillées sont quantitativement assez limitées, elles représentent néanmoins une haute valeur fourragère véritablement stratégique car *Faidherbia albida* (surtout à Watinoma) est en fin de saison sèche l'espèce qui revêt la plus grande importance fourragère : non seulement elle est feuillée en saison sèche mais elle se refeuille rapidement après un premier émondage en fin de saison.

Les résultats d'analyse confirment la teneur élevée des matière azotées totales, équivalente à celle de fanes d'arachides. Toutefois, la digestibilité des feuilles est médiocre comme le sont la plupart des feuillages des ligneux fourragers, à teneur élevée en lignine et tanins.

La composition chimique et la dégradabilité enzymatique des feuilles de *Faidherbia albida* diffère très peu d'une station à une autre et d'un site à l'autre mais aussi d'une période à l'autre. Cependant pour les feuilles récoltées à Watinoma, en milieu et en fin de saison sèche, la comparaison avec d'autres pays montre que la matière azotée totale (MAT) est plus élevée en début de saison sèche. La valeur nutritive des feuilles serait donc la moins élevée à une période où l'apport fourrager du faidherbia est le plus indispensable. Dans les faits, comme la plupart des arbres ont été émondés une première fois, ce sont surtout des repousses qui sont prélevées en fin de saison sèche et dont les teneurs sont doute plus élevées que les valeurs de nos analyses.

- **L'émondage réduit fortement la production de gousses**

Malgré une forte variabilité apparente des fruits, celle de la plupart des élements minéraux analysés reste limitée. Les teneurs moyennes sont dans l'ensemble faibles, variant peu d'une station à l'autre et encore moins d'un site à l'autre. Nous n'avons pu établir de relation entre la couleur des fruits et la teneur en éléments minéraux et vérifier si les fruits rouges étaient meilleurs, de l'avis de quelques exploitants. De la même façon, les teneurs et variations en Na et Cl des fruits comme des feuilles ne permettent pas de confirmer l'avantage avancé par certains que l'espèce ou certains individus contiennent une quantité de sel équivalant à une cure.

Pour les gousses, la variabilité intrasite des teneurs en MAT peut être mise en relation avec celle du ratio « pulpe/graine » : la pulpe contient 6 % de MAT alors que les graines en contiennent 27 % (échantillons du Mali). A Watinoma comme à Dossi, les dimensions des fruits, le nombre et le poids des graines qui varient d'un semencier à l'autre d'un facteur 1 à 3, peuvent en partie expliquer ces différences.

Quoi qu'il en soit, les gousses ont une digestibilité bien meilleure, deux fois supérieure à celle des feuilles pour les faidherbias de Watinoma et trois fois à Dossi.

Mais la production fruitière elle-même est faible et très aléatoire. Globalement, elle est bien meilleure à Dossi qu'à Watinoma où l'émondage est le principal facteur limitant de la fructification ; c'est ce qui ressort à la fois des réponses données par les Peuls et des évaluations faites sur le terrain.

A Watinoma où la plupart des faidherbias sont émondés assez fortement chaque année, les productions moyennes ne dépassent pas 2 à 3 kg par semencier et sont parfois nulles.

A l'inverse, à Dossi où les faidherbias sont peu ou ne sont pas du tout émondés, la production fruitière augmente avec la dimension de l'arbre ; ainsi un arbre adulte produit-il en moyenne 22 kg de fruits. Les productions varient cependant beaucoup, entre 157 kg et moins d'un kilo, pour les extrêmes. L'émondage n'étant pas à Dossi la principale source de variabilité, les facteurs climatiques, de site et sans doute génétiques doivent y contribuer largement.

Il reste que l'évaluation et l'interprétation des variations de la production fruitière de *Faidherbia albida* sont des opérations délicates et complexes à mener sur une espèce telle que *Faidherbia albida* plus ou

moins soumise à émondage. Pour cette raison, il est difficile de comparer nos résultats à d'autres qui précisent rarement l'importance des facteurs d'aménagement. DUNHAM (1990) qui a mesuré six ans de production fruitière de quatre faidherbias adultes le long du Zambèze offre des résultats intéressants, s'agissant d'arbres n'ayant jamais été émondés. Ainsi, un gros arbre de 350 m^2 de surface de houppier, a produit de 20 à près de 300 kg selon les années. La variation est liée, selon l'auteur, à la fois à la pluviométrie, à la température et à la production de l'année n-1.

JUNG (1969) avance le chiffre moyen de 54 kg/100 m^2 de houppier, résultat de la collecte de fruits de cinq faidherbias adultes sur la station de Bambey au Sénégal. Pour LE HOUEROU (1980), un arbre adulte produirait de 50 à 150 kg de fruits secs par an.

Si l'on se réfère à LEMAITRE (1954) évaluant à 6-8 kg/arbre/an la production moyenne de vingt arbres âgés de près de trente ans au Niger, nos résultats sont en définitive assez proches car il s'agit, dans ce cas-là, d'arbres de parc vraisemblablement soumis à un émondage fort. Il en va de même de l'évaluation faite à Ségou, au Mali, par CISSE (1979, cité par LE HOUEROU, 1980) qui donne le chiffre de 10 à 20 kg/arbre/an pour les arbres émondés.

- **La production de bois de feu est loin d'être négligeable**

Pour ce qui concerne le bois de faidherbia, sous-produit de l'émondage utilisé comme combustible, les quantités mesurées sont peu différentes de celles estimées ailleurs. Ainsi, en Ethiopie, un émondage de 20 à 35 % du houppier d'un faidherbia adulte fournirait de 0,4 à 0,5 m^3 de bois/an, sur la base d'un émondage réalisé tous les quatre à cinq ans (POSHEN, 1986). Selon JANSEN et KONTE (1982), cité par MIEHE (1986), des parcs au Sénégal de 40 à 60 faidherbias/ha composés d'arbres jeunes et adultes, produiraient à l'émondage de 1,8 à 4 m^3 de bois/ha/an selon le site et la dimension des arbres. Le chiffre est assez faible pour de telles densités mais il doit être relativisé en fonction du taux d'arbres émondés et de l'intensité de l'émondage qui ne sont pas donnés.

La quantité de bois tirée de l'émondage de faidherbia, rapportée à l'échelle des parcs de Watinoma, représente annuellement pour la communauté des exploitants plusieurs dizaines de tonnes de combustible, en complément du petit bois extrait des brousses et de l'ébranchage d'autres arbres de parcs ; mais, en définitive, les Peuls en sont les principaux bénéficiaires. Cet avantage renforce l'importance stratégique qu'ils accordent à l'espèce et, incidemment, le mécontentement de certains agriculteurs mossé pour qui l'exploitation de leurs faidherbias est abusive.

- **Un émondage raisonné peut donc concilier les différentes fonctions du parc à faidherbia**

Il reste que l'émondage n'est pas une pratique déraisonnable, non seulement parce qu'il fournit un indispensable complément fourrager mais aussi parce que l'espèce a une excellente aptitude à l'émondage même lorsqu'il est assez fortement appliqué. Le savoir-faire existe et les exploitants savent bien que la régularité et l'abondance des productions feuillées et surtout fruitières sont contraintes par les excès de coupe. Ces excès ont-ils des effets sur le rendement des cultures associées ? La réponse n'est pas certaine car nous

avons à plusieurs reprises évalué à Watinoma des rendements significativement améliorés sous le houppier de faidherbias qui avaient été émondés. La question reste posée et il faudrait pour pouvoir y répondre s'assurer du suivi d'arbres en parcs non émondés durant les années depuis le stade juvénile. Des essais en station garantiraient au mieux les réponses attendues.

Mais en fin de compte, si des recherches complémentaires aboutissent à identifier les meilleurs compromis de période, d'intensité et de type de coupe, il est clair qu'au-delà des techniques mêmes, l'entente et l'organisation communautaire des villageois pour l'aménagement des faidherbias (exploitation et régénération) restent des conditions premières au maintien des parcs et à leur renouvellement. ■

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AUBREVILLE, 1950. — Flore forestière soudano-guinéenne. Soc. d'édit. géo., maritimes et coloniales. Paris, France, 283 p.

AUDRU (J.), 1966. — Etudes des pâturages naturels et des problèmes pastoraux dans le delta du Sénégal. Etude agrostologique N° 15. Maisons Alfort, France, IEMVT.

AUFRERE (J.), CARTAILLER (D.), 1988. — Mise au point d'une méthode de laboratoire de prévision de la dégradabilité des protéines alimentaires des aliments concentrés dans le rumen. Ann. Zootech., 37 (4) : 255-270.

AUFRERE (J.), MICHALET-DOREAU (B.), 1990. — Nouvelles méthodes d'estimation de la valeur alimentaire des fourrages. II. Méthodes enzymatiques. Fourrages, 122 : 203-217.

BONKOUNGOU (E.G.), 1987. — Monographie de *Acacia albida* Del. espèce agroforestière à usages multiples. Ouagadougou, Burkina Faso, IRBET/CNRST, 92 p.

BOUDET (G.), 1970. — Pâturages naturels de Haute et Moyenne Casamance (Rép. du Sénégal). Etude Agrostologique N° 27. Maisons Alfort, France, IEMVT.

CIRAD-EMVT *et al.*, 1994. — Echantillonnage des fourrages ligneux analysés au laboratoire. Composition chimique et dégradabilité enzymatique – Chapitre V *In :* GUERIN (H.) éd. Valeur alimentaire des fourrages ligneux consommés par les ruminants en Afrique centrale et de l'Ouest. Commission des Communautés Européennes DG XII. Programme ST2.A/89/215.F. Maisons-Alfort, France, CIRAD-EMVT.

CISSE (M.I.), 1984. — Synthèse des essais d'ébranchages pratiqués sur quelques arbres fourragers sahéliens de 1978 à 1983. Doc. progr. N° AZ 103, CIPEA/ILCA, 18 p. + annexes.

CISSE (M.I.), 1987.— Etude statistique de la liaison de la biomasse foliaire et des paramètres physiques chez quelques espèces sahéliennes.

CISSE (M.I.), 1992. — Rôle fourrager d'*Acacia albida* Del. Etat des connaissances et perspectives pour les recherches futures. Atelier régional sur *Faidherbia albida*, Niamey, NIGER, 22-26 avril 1991, 11 p.

C.T.F.T., 1988. — *Faidherbia albida* Del. A. Chev., monographie. Nogent-sur-Marne, France, CTFT, 72 p.

CURASSON (M.G.), 1958. — Pâturages et aliments du bétail en régions tropicale et subtropicale. Paris, France, Vigot.

DUNHAM (K.M.), 1989. — Litterfall, nutrient fall and production. *In :* An *Acacia albida* woodland in Zambezi. Journal of Tropical Ecology, 5 : 227-238.

DUNHAM K.M. (1990). — Fruit production by *Acacia albida* trees in Zambezi riverine woodlands. Journal of Tropical Ecology 6 : 445-457.

GRILLET, (C.), VILLENEUVE (F.), 1994. — Les tanins dans les fourrages ligneux, chapitre VI. *In :* GUERIN (H.) éd. Valeur alimentaire des fourrages ligneux consommés par les ruminants en Afrique centrale et de l'Ouest. Commission des Communautés Européennes DG XII. Programme ST2/89/215. Maisons-Alfort, France, CIRAD-EMVT.

GUERIN (H.), 1991. — Composition minérale des fourrages sahéliens. Conséquences pour la nutrition des ruminants domestiques. *In* : Elevage et potentialités pastorales sahéliennes. Synthèses thématiques. Maisons-Alfort, France, IEMVT/CTA, 17 p.

IEMVT-CIRAD (1990). — La complémentation minérale. Fiche n° 9. Fiches techniques d'élevage tropical. Paris, France, Min. Coop. Devpt., 12 p.

JUNG G. (1967). — Influence de l'*Acacia albida* Del. sur la biologie des sols « dior ». Dakar, Sénégal, ORSTOM, 63 p.

LE HOUEROU H.N. (1980). — Browse in Africa. The current state of knowledge. Paper pres. at the Inter. Symp. on Browse in Africa, Addis Abeba, April 8-12, 1980. Addis Abeba, Ethiopie, ILCA, 491 p.

LEMAITRE Ch. (1954). — Le *Faidherbia albida.* Thèse de principalat Ing. S.A. FOM, 62 p.

MASON (V.L.), 1969. — Some observations on the distribution and origin of nitrogen in sheep faeces. J. Agric. Sci., Camb., vol. 73 : 99-111.

MENKE (K.H.), STEINGASS (H.), 1988. — Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. Anim. Res. Developm. 28 : 7-55.

MIEHE (S.), 1986. — *Acacia albida* and other multipurpose trees on the fur farmlands in the Jebel Marra Highlands, Western Darfur, Sudan. *In* : Agroforestry Systems, 4 : 89-119.

POSHEN (P.), 1986. — An evaluation of the *Acacia albida* based agroforestry practices in the Hararghe Highlands of Eastern Ethiopia. *In* : Agroforestry Systems, 4 : 129-143.

VAN SOEST (P.J.), WINE (R.H.), 1967. — Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. J. Ass. Off. Anal. 50 : 50-55.

Denis DEPOMMIER
CIRAD-Forêt / IRBET
01 BP 1759, Ouagadougou (Burkina Faso)

Hubert GUERIN
CIRAD-EMVT
BP 5035, 34032 Montpellier CEDEX 1 (France)

Crédit photos D DEPOMMIER et R PELTIER

Dessin C SEIGNOBOS

RÉSUMÉ

Le suivi de l'émondage de *Faidherbia albida,* réalisé durant trois ans sur les terroirs de Dossi et de Watinoma, et les enquêtes faites auprès des exploitants révèlent un grand savoir-faire des techniques de coupe, surtout chez les éleveurs peuls. Malgré cela, l'espèce est à Watinoma surexploitée ; les individus adultes y sont émondés deux fois par saison affectant plus de 50 % de leur houppier. A Dossi, l'abondance des ressources fourragères fait que l'émondage touche peu d'arbres et modérément.

Des essais d'émondage total répétés sur deux ans montrent que les arbres rejettent vigoureusement ; les plus jeunes, refont leur houppier en un an. La biomasse feuillée produite est fortement corrélée à la surface projetée au sol du houppier mais l'est moins bien à la circonférence. Elle varie de 10 à 15 kg de matière sèche pour les petits arbres et de 20 à 40 kg de M.S pour les grands.

Mais l'émondage est la principale contrainte à la production de fruits, avant les aléas climatiques et les attaques d'insectes. A Watinoma,il limite la production fruitière à quelques kilos par arbre et parfois rien. Par contre, les facteurs climat, site, dimension de l'arbre et génétique apparaisent déterminants à Dossi sur des arbres pas ou très peu émondés. La production varie de quelques kilos à plus de 150 kg d'un individu à l'autre et d'une saison à l'autre. Les productions moyennes sont respectivement de 6, 12, et 22 kg pour des individus petits, moyens et grands.

Le bois, sous-produit apprécié de l'émondage à Watinoma,a été évalué à environ 100 kg/an de MS/arbre adulte totalement émondé et 3 à 4 fois moins pour de petits arbres.

Quant aux valeurs nutritives des feuilles et fruits du faidherbia, les résultats d'analyse confirment la teneur élevée des matières azotées totales. Cependant, leur digestibilité est médiocre, quoique bien meilleure pour les fruits que pour les feuilles. Les variations de la composition chimique et de la dégradabilité enzymatique des feuilles et fruits analysés sont faibles d'une station et d'un site à l'autre. Le facteur date de coupe différencie sensiblement mieux la valeur nutritive des feuilles prélevées à un stade plus ou moins jeune. L'analyse comparative des éléments minéraux contenus dans les feuilles, fruits et rameaux chorophylliens du faidherbia montre des différences significatives selon l'organe et le site, avec une variabilité interindividuelle souvent très forte. Mais, dans la plupart des cas, les teneurs des éléments les plus importants pour l'équilibre alimentaire des animaux sont telles qu'elles ne peuvent suffirent à pallier durablement les carences, notamment du phosphore, du zinc et du cuivre.

Finalement, *Faidherbia albida* a des productions en feuilles et en fruits relativement médiocres et pour le moins très variables en fonction de l'émondage ; mais elle reste une espèce fourragère de première importance en raison de sa très bonne réponse aux coupes fortes et réitérées et du complément alimentaire de qualité qu'elle procure en saison sèche.

Mots-clés : *Faidherbia albida.* Emondage Production forestière. Croissance. Houppier. Feuille. Fruit. Valeur nutritive. Qualité protéique. Digestibilité. Alimentation des animaux.

ABSTRACT

The *Faidherbia albida* pollarding follow-up carried out over a three-year period in the Dossi and Watinoma village farmlands, along with the tree management survey made among farmers, reveal considerable know-how about pollarding techniques, especially among peul livestock farmers. Despite this, the species is over-logged at Watinoma, where adult specimens are pollarded twice per season, which affects more than 50 % of their canopy. At Dossi, the abundance of fodder resources means that few trees are pollarded, and then only on a moderate scale.

Total pollarding tests repeated over two years show that the trees produce vigorous shoots. The youngest trees remake their canopy in one year. The leaf biomass produced is in marked correlation with the ground-projected area of the canopy, but less so with the circumference. It ranges from 10 to 15 kg of dry matter (D.M.) for small trees, and from 20 to 40 kg of D.M. for large trees.

But pollarding is the main restriction for fruit production, and more influential than climatic fluctuations and insect attacks. At Watinoma, it limits fruit production to just a few kilograms per tree, and sometimes no fruit at all. On the other hand, climate, site, tree size and genetics all seem to be determining factors at Dossi for trees that have not been pollarded, or only slightly. Production ranges from a few kilograms to more than 150 kg, from one tree to the next, and from season to season. Pod average production figures are respectively 6, 12 and 22 kg for small, medium-sized, and large trees.

Fire-wood, which is a valued by-product of pollarding at Watinoma, has been assessed at around 100 kg/year of D.M. per totally pollarded adult trees, and three or four times less for small trees.

As far as the nutritive values of faidherbia leaves and pods are concerned, analysis findings confirm the high level of crude protein. Their digestibility, however, is poor, though better for fruits than leaves. Variations in the chemical composition and enzymatic degradability of the leaves and pods analysed are not marked from one station and site to the next. The pollarding date factor makes a considerably clearer distinction in relation to the nutritive value of leaves removed at a fairly young age. Comparative analysis of the minerals and trace elements contained in faidherbia leaves, fruit, and chlorophyllous branchlets shows significant differences based on organ and site, with an often very marked variability between specimens. But in most cases, levels of the most important elements for animals' dietary balance are such that they cannot be enough to mitigate deficiency thresholds, particularly of phosphorus, zinc, and copper, on a sustainable basis.

Last of all, *Faidherbia albida* has relatively poor production levels for leaves and pods. At best, these levels vary a great deal on account of pollarding, but this tree is still a fodder species of prime importance, because of its good reactions to heavy and repeated pollarding, and because of the good quality of the dietary supplement it gives in the dry season.

Key words : *Faidherbia albida.* Pollarding. Forest production. Growth. Crown. Leave. Fruit. Nutritive value. Proteine quality. Digestibility. Animal nutrition.

ÉCOPHYSIOLOGIE DE *FAIDHERBIA ALBIDA*

Fonctionnement hydrique en parc agroforestier et variabilité intraspécifique de caractéristiques juvéniles

par Olivier ROUPSARD, écophysiologiste, CIRAD-Forêt
Hélène I. JOLY, généticien, CIRAD-Forêt
Erwin DREYER, écophysiologiste, INRA

Le parc à *Faidherbia albida* de Dossi pendant la saison des pluies.

Faidherbia albida, espèce africaine inféodée aux zones semi-arides, à répartition particulièrement vaste, propagée et favorisée principalement par les pratiques humaines, prospère sous des climats, et notamment sous des régimes pluviométriques assez contrastés. Une importante variabilité génétique a été révélée grâce aux essais comparatifs. Certaines provenances témoignent notamment d'une forte croissance initiale, ce qui pourrait faire l'objet d'une sélection.

Au Burkina Faso, des essais comparatifs à large spectre de provenances ont été réalisés à cet effet par le CIRAD-Forêt (ex-C.T.F.T.) et l'IRBET * (BILLAND, DE FRAMOND, 1992 ; BASTIDE, DIALLO, 1996) dans trois stations à pluviométrie contrastée, en zones soudanienne et soudano-sahélienne. Le classement pour la croissance initiale des provenances, ainsi que pour le taux de survie, est modifié selon la station considérée et selon l'année des semis, ce qui suggère une interaction possible entre génotype et environnement pour ces deux variables.

Nous avons fait l'hypothèse que le facteur environnemental déterminant pour cet effet pourrait être la ressource en eau édaphique et nous allons tenter de le démontrer.

* Institut de Recherche en Biologie et Ecologie Tropicale.

Faidherbia albida est souvent présenté comme une espèce résistante à la sécheresse, en raison de sa phénologie inverse au stade adulte (feuillaison, croissance, fructification en saison sèche, chute des feuilles à l'arrivée des pluies pour la majorité des individus). Nous avons donc axé nos travaux sur l'étude du fonctionnement hydrique de *Faidherbia albida*, afin de préciser ses exigences réelles en termes de ressource hydrique, à l'aide de méthodes écophysiologiques.

Idéalement, il faudrait pouvoir à terme décliner les exigences de *Faidherbia albida* selon au moins trois facteurs :

- la provenance,
- la « ressource en eau du sol », susceptible de varier selon les stations, à la fois en termes de ressource totale annuelle et d'accessibilité dans le profil pédologique,
- l'âge, le stade de développement et la phénologie associée (phénologie normale caractéristique des juvéniles, phénologie inverse caractéristique des adultes).

Dans un premier temps, nous nous sommes limités à l'étude de deux situations tranchées :

- Fonctionnement hydrique d'adultes dans un parc typique à *Faidherbia albida*. L'objectif est ici d'apprécier si des individus adultes, dans ces conditions particulières, subissent ou non une phase de contrainte hydrique au cours de leur cycle annuel de croissance et s'il existe des différences d'intensité de cette contrainte selon le type de terrain.

Nous cherchons à relier des facteurs environnementaux (disponibilité en eau du sol, ETP) à leurs effets physiologiques (transpiration, régulation stomatique, croissance).

- Croissance initiale et consommation en eau de semis de diverses provenances, soumis à un stress hydrique modéré, en conditions semi-contrôlées (sous serre). L'objectif principal est d'apprécier la variabilité intraspécifique dans la réponse à la contrainte hydrique de variables écophysiologiques et de rechercher les interactions provenance × contenu en eau du sol. Le second objectif est de tester la pertinence de variables, comme l'efficience d'utilisation de l'eau (W) et la discrimination isotopique du carbone Δ (variables qui intègrent en particulier le fonctionnement stomatique dans le temps), pour décrire la tolérance à la sécheresse des diverses provenances.

Nous présentons ici les premiers résultats obtenus dans le cadre de ce programme de recherche.

1. FONCTIONNEMENT HYDRIQUE DE *FAIDHERBIA ALBIDA* ADULTES

Les études ont été menées dans le parc agroforestier de Dossi (province du Houet, Burkina Faso, en zone soudanienne). Il s'agit d'un parc de 350 ha, avec une large dépression centrale aux sols profonds, bordée de collines sur sols colluvionnaires ou cuirassés qui reçoit environ 900 mm de pluies par an. Les sols sont dans l'ensemble chimiquement riches, issus de l'altération de roches basiques birimiennes. Le peuplement de *Faidherbia albida* est assez homogène dans la dépression centrale, avec une densité pouvant atteindre localement 30 arbres/ha et une abondance spécifique relative de 80 % (DEPOMMIER, DETIENNE 1996).

Une campagne de mesures a été menée au cours de la saison sèche 1994-95, durant laquelle nous avons évalué la contrainte hydrique subie par trois groupes d'arbres adultes, situés sur des sols de profondeur inégale, en mesurant :

- les potentiels hydriques foliaires,
- la transpiration des arbres par la méthode des flux de sève (GRANIER, 1985) sur le groupe d'arbres situé dans la dépression centrale.

THÉORIE

■ Suivi saisonnier des potentiels hydriques

Le modèle qui sous-tend l'interprétation des mesures de potentiel hydrique veut que l'eau circule en suivant le continuum sol-plante-atmosphère ; le

moteur de ce transfert est l'évaporation par les feuilles. L'évaporation est conditionnée principalement par :

- le déficit de pression de vapeur d'eau ou Δw (c'est-à-dire par une fonction de la température et de l'humidité relative) ;
- le rayonnement au niveau du couvert ;
- le degré d'ouverture des stomates.

L'eau circule sous tension selon un gradient de potentiel décroissant du sol (potentiels peu négatifs) vers l'atmosphère (potentiels très négatifs). On utilise un modèle inspiré de la loi d'Ohm (U = R.I.) pour relier le gradient de potentiel hydrique entre deux points de l'arbre au flux d'eau (JARVIS, 1975) :

$$F = g_L (\Psi_s - \Psi_f) \qquad \textbf{(éq. 1)}$$

F : flux ($l\ h^{-1}l$)
g_L : conductance hydraulique ($l\ h^{-1}\ MPa^{-1}$)
Ψ_s : potentiel hydrique du sol (MPa)
Ψ_f : potentiel hydrique foliaire (MPa)

Les potentiels hydriques peuvent être mesurés à l'aide d'une chambre à pression de Scholander. On déduit de l'équation (1) que si le flux est nul, alors : $\Psi_s - \Psi_f = 0$, c'est-à-dire $\Psi_s = \Psi_f$. Il est donc possible d'estimer le potentiel du sol à l'aide d'une mesure de potentiel dans la feuille lorsque le flux est nul. Cette condition se rencontre idéalement le matin avant le lever du soleil, si la transpiration est nulle (déficit de saturation de l'air très faible, stomates fermés) et que la plante s'est équilibrée avec le sol. On estime alors le potentiel du sol dans l'horizon où la plante puise l'eau préférentiellement (potentiel le plus favorable pour elle, c'est-à-dire le moins négatif) par un potentiel hydrique de fin de nuit ou potentiel de base (Ψ_b). Le potentiel de feuille varie au cours de la journée avec le flux pour une conductance hydraulique (g_L) et un potentiel de sol donnés. Une différence de potentiel entre le sol et la feuille témoigne à elle seule de l'existence d'un flux de sève, donc d'une transpiration.

■ Suivi des densités de flux de sève dans le tronc

La mesure de la variable F de l'équation (1) peut être réalisée à l'échelle de l'arbre à l'aide de méthodes thermiques. Différentes méthodes sont utilisées ; elles partent toutes du postulat que le flux mesuré à la base du tronc à l'échelle horaire est le reflet fidèle de la transpiration foliaire totale (aux erreurs minimes près du stockage et déstockage transitoires et quotidiens de l'eau dans les tissus).

Des capteurs radiaux de flux de sève (GRANIER, 1985) sont placés dans l'aubier conducteur périphérique (entre 0 et 2 cm sous le cambium) des troncs d'une dizaine d'arbres adultes. Cette méthode qui a été calibrée en laboratoire permet de relier une densité de flux ($l\ dm^{-2}\ h^{-1}$) à une différence de température entre un capteur chauffé (effet Joule, puissance constante) et un capteur froid (non chauffé) sur le trajet de la sève. Lorsque le flux est nul (avant le lever du jour), la différence de température entre les deux capteurs est maximale (10 à 12 °C) ; le capteur chaud dissipe uniquement par diffusion dans l'aubier. Plus le flux est important, plus la température du capteur chaud tend vers celle du capteur froid ; le capteur chaud dissipe alors à la fois par diffusion et par convection. On enregistre une mesure toutes les 10 secondes.

■ Sensibilité de semis en pot à une sécheresse poussée

L'objectif de cette expérience, qui complétait l'étude du fonctionnement hydrique en situation naturelle, était de définir un seuil de sécheresse déterminant l'arrêt de la croissance (arrêt de la photosynthèse, lié à la fermeture des stomates, mesuré par échanges gazeux) sur de jeunes plants en conditions contrôlées.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Trois sites ont été choisis dans le parc, selon un gradient de profondeur du sol

- **Site 1 (« site des flux »),** sur sol profond dans la dépression centrale : le sol meuble a une profondeur de 6 m environ et repose sur une roche mère schisteuse. Une nappe permanente apparaît à la faveur de puits alentours, entre 6 et 15 m de profondeur selon les endroits et les saisons. Les arbres choisis ont des diamètres compris entre 30 et 60 cm et une hauteur entre 15 et 22 m. Sur ces arbres sont également enregistrés des flux de sève.

- **Site 2 (« site des drageons »)** : ce site sur sol moins profond et faiblement pentu regorge de drageons de *Faidherbia albida* consécutifs à l'abattage récent d'un gros arbre. On compare ici également l'évolution de la contrainte hydrique entre les drageons (jusqu'à 5 cm de diamètre et 2 m de haut) et les adultes (diamètre jusqu'à 30 cm, hauteur jusqu'à 15 m).

- **Site 3 (« site de la cuirasse »)** : le sol meuble y est très superficiel (quelques centimètres) et la cuirasse affleure en tous points. Les arbres sont assez chétifs (houppier peu étalé, diamètre entre 10 et 30 cm, hauteur jusqu'à 10 m).

Mesure des tensions de sève sur un champ de drageons de *Faidherbia albida* (site des drageons) à l'aide d'une chambre à pression portable de (Dossi, mars 1995).

Les potentiels hydriques de base (Ψ_b) et minima (Ψ_{min}, vers 11 h 30 T.U., heure constatée de la transpiration maximale) ont été mesurés à un jour d'intervalle sur les trois sites, à raison de 7 à 11 arbres adultes par site et 3 à 5 répétitions par arbre. Cinq campagnes de mesure ont été étalées sur l'ensemble de la saison sèche (de novembre 1994 à juin 1995).

La mesure de la transpiration des arbres a été réalisée à Dossi dans un site caractéristique du fond de vallon (« site des flux »). Nous avons choisi d'enregistrer la transpiration d'une dizaine d'arbres, pour cinq dates réparties sur l'ensemble de la saison sèche. Nous cherchons à comparer l'intensité de la transpiration, au cours de la saison sèche, pour mettre en évidence la réponse des arbres à l'évolution de l'ETP-Penman, et de la contrainte hydrique caractérisée par le potentiel de base.

Trois plants appartenant à la provenance Matameye (Niger) ont été élevés en pot durant 18 mois en serre chaude, en régime hydrique et minéral optimal à Nancy, France. Ils ont ensuite été introduits en chambre climatisée (la température, l'humidité de l'air et l'éclairement sont régulés). On a arrêté toute irrigation et mesuré quotidiennement l'évolution du potentiel de base, des échanges gazeux (conductance stomatique à la vapeur d'eau et photosynthèse, chambre de photosynthèse portable LiCor 6200, éclairement PFD = 250 µmol m^{-2} S^{-1}, CO_2 ambiant = 400 µmol.mol^{-1}) sur trois rameaux feuillés par plant.

RÉSULTATS

■ Evolution saisonnière des potentiels hydriques (Ψ_b) (Ψ_{min})

Les potentiels de base moyens (fig. 1a, p. 90) sont compris entre – 0,19 et – 1,62 MPa, fourchette tout à fait comparable à ce qui peut être observé pour des arbres en conditions tempérées. Les effets site, date et les interactions (site × date) sont tous trois très hautement significatifs ($p < 0,001$). Les sites « flux » et « cuirasse » montrent une évolution saisonnière comparable, bien que ce dernier soit plus sec (Ψ_b plus négatifs) et que ses écarts-types soient plus élevés. On a enregistré une chute progressive des potentiels au cours de la saison sèche, puis une remontée vers le mois d'avril, qui a été précédé des premières pluies.

L'amplitude de variation est supérieure dans le site « drageons » et les écarts-types nettement plus importants. On a comparé (fig. 1 bis) le comportement relatif des drageons et des arbres adultes sur ce site. Les effets date, âge et interaction sont significatifs. Les écarts-types augmentent en cours de saison sèche pour s'amenuiser ensuite. On constate que les inégalités sont plus fortes dans le cas des gros arbres. Les potentiels remontent avant les pluies, ce qui est paradoxal. Après les premières pluies, les potentiels des deux sous-groupes se rejoignent.

L'évolution des potentiels hydriques mesurés en milieu de journée (Ψ_{min}) a présenté une diminution significative avec l'installation de la saison sèche, sans qu'il y ait eu toutefois de différence entre les sites. Dans l'ensemble, toutes les valeurs étaient inférieures à – 2 MPa. L'arrivée des premières pluies a permis une légère remontée de ces valeurs.

L'existence d'un écart entre Ψ_{min} et Ψ_b (fig. 1c) montre que les arbres transpirent en toute saison. On remarque que les écarts sont plus importants en saison sèche sur le site « flux » et ne varient pas significativement entre les dates. Cette observation implique que la transpiration est restée élevée. Les écarts sont devenus particulièrement faibles dans le site « drageons » en janvier, indice d'une forte réduction de la transpiration. Après les premières pluies, les différences de potentiels étaient légèrement plus faibles sur le site « flux ». Il faut insister sur le fait que ces différences entre sites sont dues à des différences de potentiel de base, à potentiel minimal équivalent.

FIGURE 1

Evolution saisonnière du potentiel hydrique de base, du potentiel minimal et des densités de flux intégrées sur une journée, en trois sites, dans un parc agroforestier à Dossi, Burkina Faso.

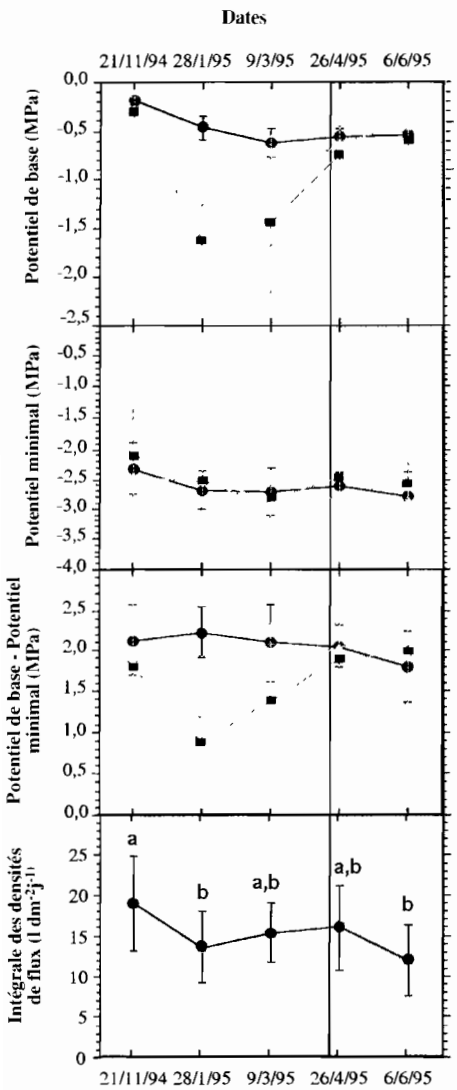


Figure 1a
Effet site
Effet date
Effet site x date

Figure 1b
Effet site n s
Effet date
Effet site x date n s

Figure 1c
Effet site
Effet date
Effet site x date

Figure 1d
Effet date

site "flux" ; sol profond/nappe
site "drageons" ; sol superficiel
site "cuirasse" ; sol squelettique
saison sèche
premières pluies

n.s. : différence non significative
* : significative ($p < 0,05$)
** : hautement significative ($p < 0,01$)
*** : très hautement significative ($p < 0,001$)

FIGURE 1BIS

Comparaison d'adultes et de drageons sur un même site pour les potentiels hydriques de base. Mise en évidence d'une remontée des potentiels avant les pluies.

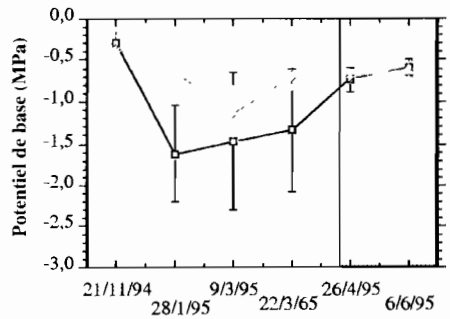


Figure 1bis
Effet site
Effet date
Effet site x date

Evolution saisonnière des densités de flux de sève

La figure 2, p. 91, montre une cinétique journalière des densités de flux de sève à cinq dates, les trois premières en saison sèche et les deux suivantes après le début des pluies. La courbe supérieure représente l'ETP-Penman, c'est-à-dire le moteur de la transpiration. L'ETP varie assez peu, exception faite des passages nuageux les jours 3 et 4 et de quelques nuits pendant lesquelles le déficit de saturation est resté élevé.

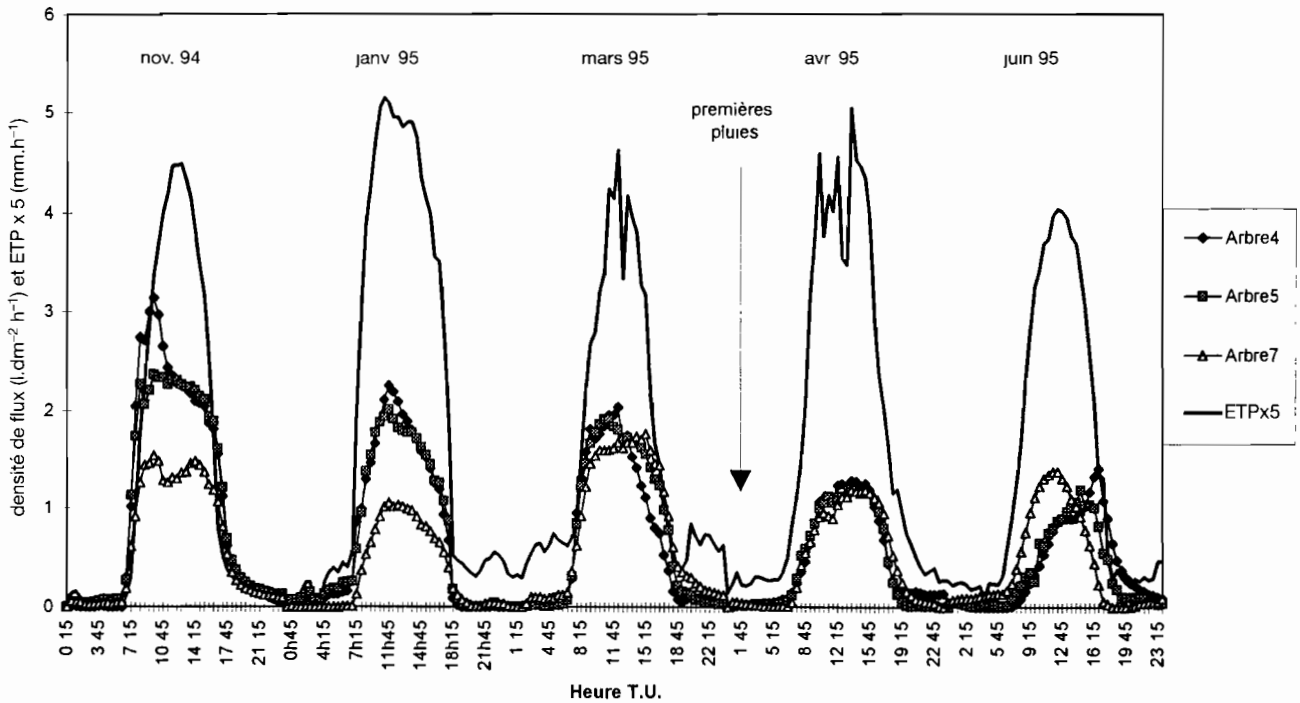
• **Amplitude** : les maxima journaliers varient selon les arbres et les saisons entre 1 et 3,5 $l.dm^{-2}.h^{-1}$, ce qui est du même ordre de grandeur que pour les arbres des forêts tempérées.

• **Cinétique** : l'allure des cinétiques de densité de flux suit grossièrement le profil de la courbe d'ETP avec un léger retard et en marquant bien les accidents tels que les passages de nuages. Pour une même journée, les cinétiques diffèrent entre arbres, avec des courbes montrant un plateau ou passant brièvement par un maximum vers 11 h 30, puis montrant une brusque déclivité et un dernier plateau vers 14 h. Un maximum décalé vers la fin de journée a été observé le 5 juin.

• **Intégrale** (fig. 1d) : les cinétiques de densité de flux de sève intégrées sur une journée ($l\ dm^{-2}j^{-1}$) montrent des différences significatives ($p = 0,04$), les deux dates de janvier et juin affichant une moindre transpiration. L'intégrale des courbes est assez variable entre arbres pour une date donnée, et les rapports varient d'ailleurs d'une saison à l'autre. La

FIGURE 2

***Faidherbia albida* : suivi au cours de la phase feuillée des densités de flux de sève sur 3 arbres adultes en site de fond de vallon.**
Un pic = une journée



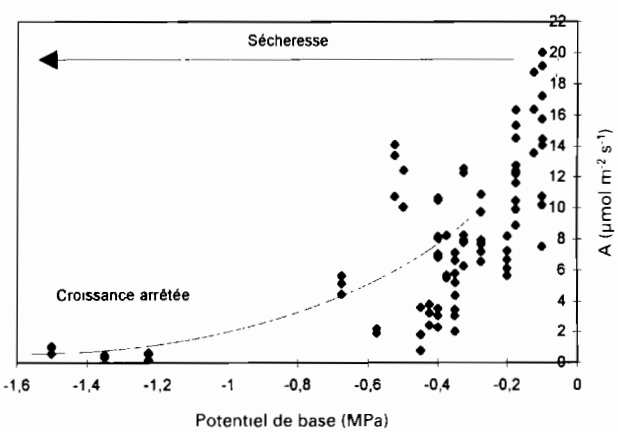
tendance globale au cours de la saison de végétation est celle d'une réduction modérée de la transpiration.

■ Dessèchement poussé en pot

La figure 3 montre l'évolution de la photosynthèse (A) en fonction du potentiel de base. L'intensité de la sécheresse se traduit par une diminution du potentiel de base, qui démarre à une valeur de – 0,2 MPa (au début de l'expérience). La valeur de – 1,0 MPa correspond à l'arrêt de la photosynthèse. Dans les quelques jours qui ont suivi, le potentiel a baissé brutalement entraînant la chute de la quasi-totalité du feuillage.

FIGURE 3

Evolution de la photosynthèse au cours d'une sécheresse poussée en pot. Trois plants suivis et trois feuilles/plant.
Un point = une mesure



DISCUSSION

■ Potentiels hydriques

• Dans le bas-fond, il n'y pas de stress hydrique

Les différences d'évolution saisonnière de potentiel hydrique de base (Ψ_b) entre sites illustrent bien plusieurs caractéristiques de *Faidherbia albida* en parc. Les arbres du site « flux » n'ont sans doute pas subi de contrainte hydrique significative au cours de la saison sèche. Cette absen-

ce de contrainte est confirmée par le fait que les densités de flux de sève n'ont diminué que très légèrement au cours de la saison. La ressource en eau était vraisemblablement suffisante pendant toute la saison sèche. Cette ressource est essentiellement localisée dans la nappe (horizons superficiels très secs). De plus, ces observations démontrent clairement que la défoliation intervenant en fin de saison sèche est totalement indépendante d'un effet de sécheresse et contrôlée par des facteurs indépendants de la disponibilité en eau.

- **Sur sol superficiel, le stress hydrique s'atténue aux premières pluies**

Sur le site « cuirasse », la baisse plus accusée de Ψ_b indique une baisse significative de la disponibilité en eau. De plus, la baisse importante de la différence Ψ_b-Ψ_{min} implique vraisemblablement une réduction importante de la transpiration par fermeture des stomates. On remarque aussi des inégalités plus prononcées entre arbres que dans le site « flux ». Ces dernières pourraient s'expliquer :

• par des différences de surface foliaire entre arbres, conduisant à un épuisement plus rapide de la réserve localement chez certains d'entre eux,

• ou, plus probablement, par des différences de profondeur d'enracinement et de réserve en eau disponible.

Par contre une rapide réponse aux pluies a été constatée, suggérant le maintien d'une capacité d'absorption d'eau importante par des racines présentes en surface.

- **Le site « drageons » est plus difficile à interpréter**

Le sol est plus profond que sur le site cuirassé ; cependant, la décroissance de potentiel est plus accusée et les différences interarbres plus marquées mais, en l'absence d'une analyse de la nature des sols réservoirs et de la relation entre la teneur en eau des sols et leur potentiel (courbes pF/humidité) pour les différents sites, il paraît malaisé de conclure. La mesure de Ψ_b peut être affectée par l'existence d'une transpiration nocturne due aux faibles humidités de l'air, tendant à faire baisser les valeurs mesurées et les éloignant de la situation d'équilibre avec le sol recherchée. Cependant, un tel effet aurait dû être détecté sur tous les sites, ce qui n'était pas le cas. Nous avons, de plus, couvert la partie aérienne des drageons entiers, pendant la nuit, avec un sac plastique pour réduire leur évaporation : au matin, les valeurs de Ψ_b étaient identiques à celles des drageons avoisinants, confirmant ainsi la validité de nos mesures.

Une légère remontée de potentiel de base a été observée avant l'arrivée des premières pluies, confirmée par une mesure supplémentaire fin mars. Pour expliquer ce phénomène, on peut invoquer des remontées d'eaux capillaires d'un réservoir profond ou une reprise de croissance racinaire, avec colonisation de couches plus profondes ; ces hypothèses paraissent malheureusement délicates à vérifier. Signalons ici une observation faite lors des mesures de fin mars : un certain nombre d'autres espèces très fortement décidues (*Lannea microcarpa, Ceiba pentandra*), qui étaient jusqu'alors défeuillées, ont débourré et étalé leurs feuilles. Quelques mesures de Ψ_b ont révélé des valeurs très voisines de ceux des drageons de *Faidherbia albida*, ce qui signifierait que ces arbres n'ont pas défeuillé précédemment pour des raisons de sécheresse ou ont bénéficié avant les pluies d'un apport d'eau souterrain.

■ Densités de flux de sève brute dans les troncs

• Le retard de transpiration relativement à l'ETP, visible le matin et le soir, est un phénomène classique qui s'interprète généralement comme la conséquence d'un déstockage de l'eau, venant des tissus et partant dans le flux transpiratoire sans être enregistré (le matin, l'arbre se « dessèche »), et de stockage le soir (l'arbre « regonfle »). Un tel décalage a été observé maintes fois dans le cas des arbres tempérés (LU *et al.*, 1995).

• La variabilité dans le profil des courbes de densité de flux de sève pourrait s'expliquer en partie par l'hétérogénéité du fonctionnement stomatique, limitant la transpiration à certaines heures et provoquant un découplage relativement à l'ETP. Une forte dispersion des résultats entre arbres a souvent été mise en rapport avec l'augmentation de la contrainte hydrique caractérisée par le potentiel de base, mais cet argument ne semble pas concorder avec nos résultats. La plupart des arbres ferment ici leurs stomates l'après-midi et sont suffisamment éloignés pour ne pas se faire d'ombre mutuellement. Ces différences de profil au cours de la journée peuvent aussi s'expliquer par les différentes formes du houppier qui, selon les heures du jour, interceptent plus ou moins de lumière, donc transpirent en conséquence. Pourtant, force est de constater que le même arbre ne montre pas le même profil à différentes dates bien que la trajectoire du soleil sous ces latitudes varie assez peu. Reste la possibilité d'un biais introduit par la position des capteurs, qui a été décalée d'une mesure à l'autre.

S'agissant d'une méthode par mesures ponctuelles, elle est assez sensible à des hétérogénéités dans le bois (cicatrices fréquentes dans l'aubier des *Faidherbia albida*), ainsi qu'à des hétérogénéités azimutales de la conduction des flux ; s'agissant en outre d'une méthode thermique, elle est assez sensible à des gradients thermiques dans le bois et à leurs variations journalières.

• Sur le site des flux, les arbres ont présenté en cours de saison sèche une chute modérée des potentiels de base, avec stabilisation à partir du mois de mars, et aucune remontée avec les pluies. La ressource en eau doit être assez importante, et l'enracinement profond. Il est probable que les arbres s'alimentent à proximité d'une nappe ou dans ses remontées capillaires. La baisse de la densité de flux observée en juin est sans doute expliquée par la chute des feuilles ; celle que nous avons détectée en janvier est plus difficilement explicable.

• **Autre application possible de la méthode des flux**

Sachant, d'une part, que le sol en saison sèche se dessèche en superficie et que son évaporation devient négligeable et que, d'autre part, notre site est composé exclusivement de *Faidherbia albida*, nous pensons que la mesure du flux de sève de dix arbres côte-à-côte est très représentative de l'évapotranspiration de la parcelle. Il sera possible à terme de rapporter la transpiration annuelle des arbres aux précipitations totales, compte tenu de leur cinétique de transpiration journalière, saisonnière, de leur taille et de leur densité.

■ Sécheresse poussée en pot

L'arrêt de la croissance s'est produit pour un potentiel modéré de – 1,0 MPa. Ce résultat peut être comparé à celui obtenu pour des espèces tempérées placées dans des condition similaires. Les chênes (*Quercus sp.*) sont habituellement qualifiés d'espèces « tolérantes » à la sécheresse, puisqu'ils conservent l'aptitude à croître sous des contraintes hydriques importantes (jusqu'à des valeurs de Ψ_b voisines de – 2,5 MPa : ROUPSARD *et al.,* 1996). Nous voyons que *Faidherbia albida* se comporte à la manière d'espèces très sensibles à la sécheresse, comme *Populus* ou *Betula*, qualifiées d'espèces « évitantes » (fermeture précoce des stomates, à des valeurs Ψ_b voisines ou supérieures à – 1 MPa, arrêt de croissance, chute des feuilles).

Il apparaît assez probable que *Faidherbia albida* soit une espèce sensible à la sécheresse, même sous contrainte assez modérée.

CONCLUSIONS

Ces tous premiers résultats de mesures de terrains illustrent la richesse d'une approche écophysiologique du fonctionnement hydrique de *Faidherbia albida*. Malgré les conditions difficiles, l'application de techniques développées en climat tempéré (mesures de potentiels hydriques, mesure des densités de flux de sève *in situ*) s'avère particulièrement fructueuse. Les premiers résultats confirment des observations fréquemment rapportées sur le caractère phréatophyte de *Faidherbia albida*. Cette espèce se développe au mieux sur des sites à sols profonds et en présence d'une nappe. La profondeur de la nappe atteint 12 m à Dossi en fin de saison sèche, et un enracinement à cette profondeur n'est pas une situation exceptionnelle. De plus, ces premiers résultats écophysiologiques montrent que l'espèce n'est pas réellement résistante à la sécheresse ; elle ne subit pas de contrainte (ou seulement une contrainte très limitée) en saison sèche et réagit à une sécheresse un peu poussée par une fermeture des stomates et une brutale ablation foliaire. Cependant, dans certaines conditions, les arbres ont sans doute à subir des contraintes hydriques et des arrêts de croissance prématurés, consécutifs par exemple au battement de la nappe ou à l'absence de nappe et à l'épuisement d'un réservoir superficiel. L'espèce survit parfois dans des zones moins favorables, comme le montre notre étude de sites, ce qui témoigne d'un certain degré de plasticité encore mal connu. Les dynamiques des nappes et leurs conséquences sur la phénologie de *Faidherbia albida* constituent un sujet important de recherches lors de prochaines campagnes de mesures.

Ce caractère phréatophyte pose néanmoins le problème des juvéniles en phase d'installation. L'aptitude à installer un système racinaire pivotant profond est indispensable à une installation réussie des semis. Durant les premières années d'installation, ces semis auront à affronter des conditions plus difficiles.

2. CROISSANCE, EFFICIENCE DE L'EAU ET DISCRIMINATION ISOTOPIQUE DU CARBONE DE SEMIS EN DÉFICIT HYDRIQUE

Les semis de *Faidherbia albida* présentent généralement une phénologie normale, donc une croissance en saison humide. La condition de leur passage en phénologie inverse est sans doute la rencontre de leur système racinaire pivotant avec un réservoir d'eau, tel qu'une nappe, ou avec les remontées capillaires. La sécheresse en fin de saison des pluies serait donc pour eux une contrainte majeure, et les différentes provenances africaines, originaires vraisemblablement de milieux assez contrastés du point de vue de la ressource en eau, sont susceptibles de présenter des aptitudes inégales à la surmonter. Nous avons donc analysé divers caractères écophysiologiques, afin de mettre en lumière leur variabilité intraspécifique et leur sensibilité à la sécheresse. Sept provenances panafricaines, connues pour leurs croissances contrastées dans les essais comparatifs de provenance, ont été choisies. Nous avons mesuré des variables de croissance, de consommation en eau, d'assimilation nette de CO_2, et exploré l'expression d'autres caractères, qui seraient liés potentiellement à la tolérance à la sécheresse, tels que l'efficience d'utilisation de l'eau (W). W est défini par le rapport de la biomasse produite à l'eau totale consommée et pourrait apporter des informations appréciables dans le cadre d'un programme de sélection pour des variétés performantes et tolérantes à la sécheresse (GUEHL *et al.,* 1995). L'estimation directe de W nécessite la mise en œuvre de protocoles lourds (évaluer une consommation en eau sur une saison de végétation n'est pas facile). Elle nécessite des dispositifs lysimétriques pour des juvéniles ou l'utilisation de mesures ou de modèles de transpiration sur des adultes. Cependant, il a été montré récemment que W est corrélé à la discrimination isotopique du $^{13}CO_2$ par rapport au $^{12}CO_2$ lors de la photosynthèse ($\Delta^{13}C$) (FARQUHAR, RICHARDS, 1984). Cette variable peut être mesurée sur de petits échantillons de biomasse par passage au spectromètre de masse.

THÉORIE DE LA RELATION ENTRE W & $\Delta^{13}C$

Le carbone 13 (^{13}C), plus volumineux que le carbone 12 (^{12}C), subit une discrimination lors de sa diffusion depuis l'atmosphère vers les espaces aériens intrafoliaires (via les stomates) et lors de la carboxylation (catalysée par la RUBISCO).

La composition isotopique des produits de la photosynthèse peut être mise indirectement en relation avec A/g, le rapport de la photosynthèse nette sur la conductance stomatique (éq. 2, VON CAEMMERER, FARQUHAR, 1982 ; FARQUHAR *et al.,* 1989). Ces deux variables fluctuent fortement à l'échelle instantanée, mais la composition moyenne de la plante mesurée sur un échantillon de sa biomasse finale intègre ces variations.

$$\Delta = - \frac{1{,}6\ 10^{-3}\ (b\text{-}a)}{Ca} \cdot \frac{A}{g} + b \qquad \textbf{(éq. 2)}$$

- Δ discrimination isotopique du carbone (p. 1 000), reflet de la différence de composition $^{13}C/^{12}C$ entre l'atmosphère et la plante ‰
- Ca fraction molaire de CO_2 dans l'air ($\mu mol.mol^{-1}$)
- a coefficient de discrimination lié à la diffusion (de valeur 4,4 ‰)
- b coefficient de discrimination lié à la carboxylation (de valeur 27 ‰)
- A/g rapport de la photosynthèse nette à la conductance stomatique pour la vapeur d'eau (mmol CO_2 mol H_2O^{-1}).

Le rapport de la croissance à la transpiration peut être approché à l'échelle instantanée par A/g (échanges gazeux) ou encore de manière intégrée dans le temps par W (biomasse totale/consommation totale d'eau), selon FARQUHAR et RICHARDS (1984). A/g est en principe une composante essentielle de W, donc il y a une corrélation négative entre W et Δ (éq. 3).

$$W = \frac{Ca}{1{,}6\ 10^{-3}.\delta w} \cdot \frac{b\text{-}\Delta}{b\text{-}a} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{k} \cdot (1\text{-}\Phi) \qquad \textbf{(éq. 3)}$$

- W efficience d'utilisation de l'eau (mg de mat. sèche g H_2O^{-1})
- δw déficit de pression de vapeur d'eau ($mmol.mol^{-1}$)
- k taux de carbone de la plante (gC g mat. sèche^{-1})
- Φ fraction de carbone fixé qui est reperdu (respiration nocturne, pertes organiques, etc.)

W en tant que variable intégrée enregistre également les variations climatiques du déficit de pression de vapeur d'eau (δw) et les pertes de carbone (Φ), liées entre autres à la respiration nocturne. Considérant que les conditions climatiques sont équivalentes pour tous les plants, on peut s'attendre à trouver une corrélation entre W et Δ, aux différences de k et de Φ près.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Sept provenances panafricaines de *Faidherbia albida* (cf. tableau I) ont été élevées durant six mois en conteneurs de 5 l sur un mélange sable-tourbe fertilisé, en serre chaude à l'INRA-Nancy, France.

La consommation d'eau est mesurée par pesée tous les trois jours ; l'évaporation du sol était minimisée grâce à un carton imperméable posé en surface des pots. Le contenu en eau du sol (CES) a été maintenu à la capacité au champ (25 % d'humidité pondérale) jusqu'au début du quatrième mois, où la moitié des plants a été maintenue à un CES de 15 %. Les plants ont été récoltés à six mois, séchés, et chaque compartiment a été pesé séparément, puis broyé. La surface foliaire totale a été estimée pour chaque plant à l'aide d'une relation établie avec sa biomasse foliaire. Les valeurs de Δ ont été mesurées sur un aliquot représentatif de la biomasse totale, par spectrométrie de masse (Laboratoire Central d'Analyses, C.N.R.S., Solaize, France). Le dispositif statistique comprenait 14 traitements en randomisation totale (7 provenances × 2 contenus en eau du sol × 8-10 répétitions). Les analyses statistiques ont été réalisées sur SAS (ANOVA + test de Bonferroni) et sur Statitcf (ACP).

Comparaison de provenances de *Faidherbia albida* en serre à l'INRA de Nancy (France).

RÉSULTATS

■ Comparaison des provenances

Comme on peut le voir sur le tableau II, p. 98, les provenances est et sud-africaines ont présenté une plus forte vigueur initiale et une plus grande surface foliaire. Dans le même temps, elles présentaient des valeurs plus élevées de W et plus faibles de Δ. Les effets provenance ont été significatifs ($p < 0,05$) à très hautement significatifs ($p < 0,001$) pour toutes les variables.

La sécheresse a affecté de façon significative la vigueur, la surface foliaire, le rapport biomasse racinaire/biomasse totale Δ et la consommation en eau mais ni W, ni l'efficience de croissance (masse de carbone fixée par unité de surface foliaire). Aucune interaction entre les facteurs provenance et contenu en eau du sol pour les variables mesurées n'a été détectée.

La variabilité intraprovenance (additionnée de l'erreur) était généralement plus forte que la fraction de variation expliquée par le modèle (R-square pour les effets provenance et contenu en eau du sol). L'ordre de grandeur de la variabilité intraprovenance est semblable entre W et les autres variables de croissance, mais double environ pour Δ.

TABLEAU I
Principales caractéristiques des sept provenances utilisées

Nom	Abréviations	Fournisseur	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Pluviométrie ($mm.an^{-1}$)
Gihanga (Burundi)	Gih	CIRAD	29°15'E	3°15'S	800	650
Mana Pools (Zimbabwe)	Man	CIRAD	29°20'E	15°45'S	360	730
Matameye (Niger)	Mat	CIRAD	8°28'E	13°25'N	450	560
Kagnabon (Sénégal)	Kag	CIRAD	16°40'W	13°36'N	48	1 000
Mora (Cameroun)	Mor	CIRAD	14°12'E	10°58'N	450	780
Dossi (Burkina Faso)	Dos	IRBET	3°25'W	11°30'N	300	900
Kongoussi (Burkina Faso)	Kon	CNSF	1°50'W	13°30'N	338	600

■ Corrélations entre variables et validation du modèle

Nous présentons une ACP pour 17 variables de croissance et de consommation en eau (fig. 4 et 4 bis) :

• La variabilité est expliquée par le plan principal pour 77 %.

• L'axe 1 a pu être assimilé à un axe de « vigueur », étant fortement corrélé avec la biomasse totale, la consommation en eau totale, la biomasse de chaque compartiment. Ces variables sont fortement intercorrélées ($0,75 < r < 0,96$). W est corrélé positivement avec cet axe de vigueur et Δ négativement. Quatre groupes homogènes (définis en accord avec les résultats de l'ANOVA) se reconnaissent le long de l'axe 1, ce qui donne dans l'ordre de vigueur décroissant : Burundi, Zimbabwe > Niger, Sénégal > Cameroun > Burkina 1, Burkina 2 (fig. 4 bis).

Les provenances ouest-africaines montrent donc une croissance initiale plus lente et une plus faible efficience de l'eau. La sécheresse a réduit la croissance et la consommation en eau de chacune des provenances, comme l'indiquent les flèches, mais les provenances à faible croissance initiale semblent les plus sensibles.

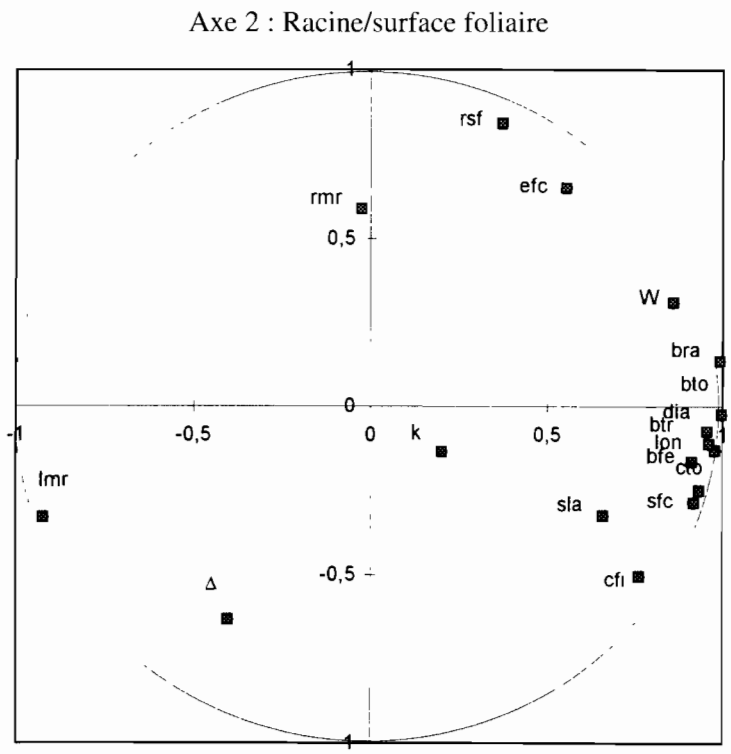
• L'axe 2 est représenté principalement par le rapport de la biomasse racinaire à la surface foliaire. La sécheresse a induit globalement une augmentation de ce rapport, et ceci de manière assez spectaculaire pour la provenance du Niger.

■ Corrélations entre W et Δ

Conformément au modèle décrit par l'équation 3, nous avons trouvé une corrélation négative significative entre W et Δ (fig. 5), les régressions passant entre les moyennes des sept provenances pour les deux traitements hydriques. Les corrélations sont également significatives à l'intérieur de chaque provenance.

FIGURE 4

Cercle des corrélations de 17 variables mesurées sur des plantules (essai comparatif de provenances). Les deux axes principaux expliquent 77 % de la variabilité.



VARIABLES :

bfe : biomasse foliaire
bra : biomasse racinaire
bto : biomasse totale
btr : biomasse tiges+rameaux
cfi : consommation d'eau finale
cto : consommation en eau
Δ : composition isotopique en carbone
dia : diamètre
efc : efficience de croissance
k : taux de carbone
lon : longueur axe 1
lmr : feuilles/biomasse totale
rsf : racines/surface foliaire
rsr : racines /biomasse totale
sfc : surface foliaire
sla : suface foliaire spécifique
W : efficience d'utilisation de l'eau

FIGURE 4 bis

Semis de provenance : répartition des moyennes des 14 traitements. La flèche montre l'effet de la sécheresse : réduction de la croissance et augmentation du rapport racine/surface foliaire.

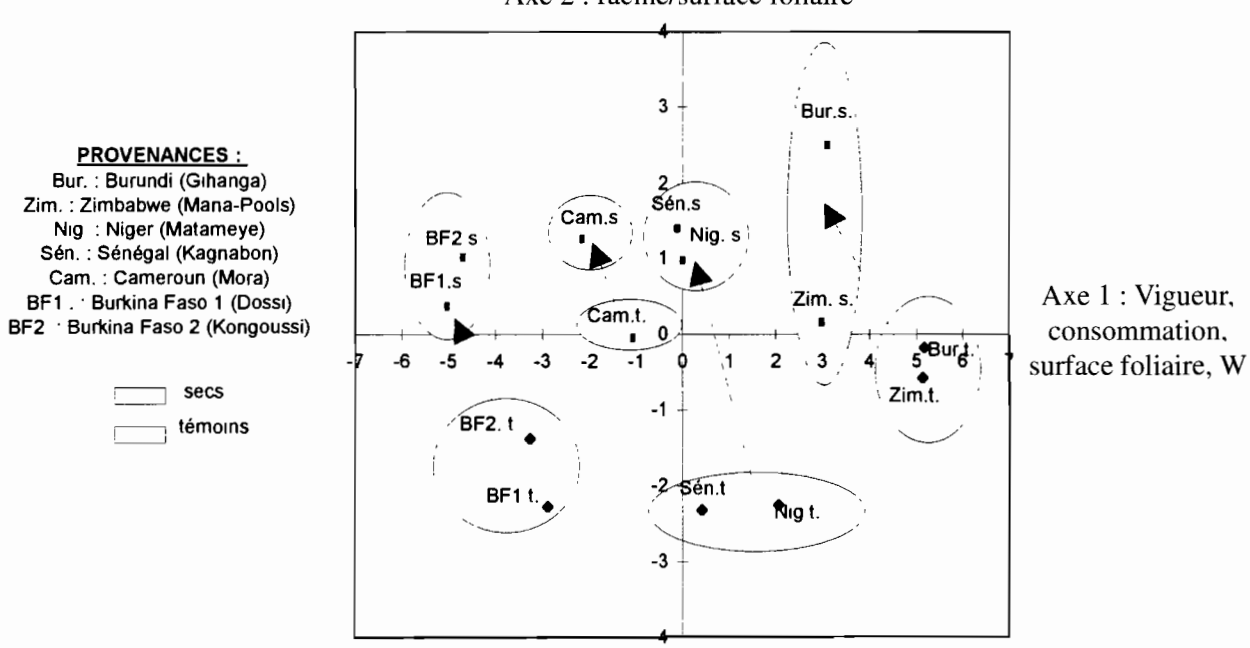
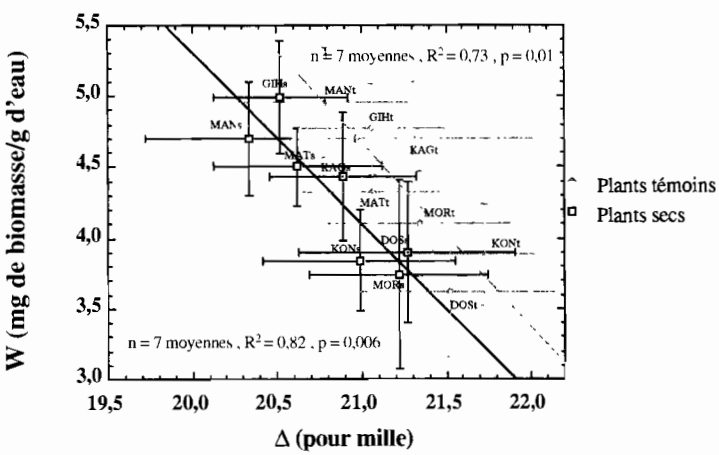


FIGURE 5

Corrélations entre l'efficience d'utilisation de l'eau (W) et la composition isotopique en carbone (Δ) de semis soumis à deux traitements hydriques.

Corrélations interprovenances



Corrélations intraprovenance

Provenance	Pays	n	R^2	p	Pente
Gihanga	Burundi	18	0,35	0,0091	(-)
Mana Pools	Zimbabwe	20	0,45	0,0023	(-)
Matameye	Niger	19	0,53	0,0003	(-)
Kagnabon	Sénégal	16	0,45	0,0034	(-)
Mora	Cameroun	20	0,20	0,0570	(-)
Dossi	Burkina 1	19	0,39	0,0043	(-)
Kongoussi	Burkina 2	19	0,20	0,0800	(-)

Corrélations interprovenances entre W et Δ.
Un point = 1 moyenne par provenance et par traitement hydrique (dix répétitions/modalité), avec son intervalle de confiance (à 95 %).

Corrélation intraprovenance entre W et Δ
(les deux traitements hydriques ont été confondus).

TABLEAU II

ANOVA + test de Bonferroni sur les variables de croissance et de consommation d'eau de semis de 7 provenances de *Faidherbia albida* à 6 mois
Contenus en eau du sol (s : sécheresse, t : témoin)

	Burundi		Zimbabwe		Niger		Sénégal		Cameroun		Burkina 1		Burkina 2		Effet provenance	Effet sécheresse		Pro* séch.	R-sq
	GlHs	GlHt	MANs	MANt	MATs	MATt	KAGs	KAGt	MORs	MORt	DOSs	DOSt	KONs	KONt		S	T		
Nombre d'observations	11	8	9	9	10	10	8	10	9	10	10	10	10	10					
Consommation totale d'eau (l) (cto)	12,2 *5,23* ab	16,18 *6,09*	13,74 *3,87* a	15,96 *2,9*	10,51 *1,7* abc	13,58 *2,6*	10,62 *3,68* bcd	10,96 *4,49*	9,96 *3,27* cde	10,81 *2,5*	6,16 *2,16* de	9,82 *2,24*	6,54 *2,38* e	8,08 *2,13*	***	** *b*	*a*	n s	0,43
Biomasse totale (g) (bto)	60,23 *24,5* ab	76,2 *29,32*	66,5 *19,21* a	75,98 *21,71*	46,27 *9,59* bc	58,05 *11,92*	46,15 *13,33* c	49,7 *23,28*	38,61 *14,87* cd	43,9 *12,86*	22,91 *9,18* d	34,55 *8,78*	24,31 *12,08* d	31 *9,19*	***	** b	a	n.s.	0,5
Efficience d'utilisation de l'eau (mg de mat. sèche/g d'eau) (W)	5,11 *0,74* a	4,56 *0,66*	4,82 *0,42* ab	4,69 *0,54*	4,39 *0,42* bc	4,28 *0,35*	4,43 *0,42* abc	4,41 *0,64*	3,86 *0,66* cd	4,02 *0,39*	3,68 *0,56* d	3,51 *0,49*	3,6 *0,57* d	3,82 *0,32*	***	n.s. /	/	n.s.	0,43
Discrimination isotopique du carbone (p. 1 000) (Δ)	20,68 *0,61* ab	21,17 *0,5*	20,5 *0,63* b	20,67 *0,55*	20,75 *0,66* ab	21,35 *0,81*	20,73 *0,62* ab	21,46 *0,67*	21,12 *0,51* ab	21,52 *0,58*	20,98 *1,36* a	21,85 *0,76*	21,11 *0,5* a	21,46 *0,56*	**	*** b	a	n.s	0,23
Longueur de tige (cm) (lon)	94,14 *23,72* b	103,94 *18,49*	110,56 *18,27* a	119,22 *13,99*	86,7 *13,7* b	100,5 *13,43*	82,25 *14,06* b	90,6 *23,7*	85,56 *19,04* bc	86,4 *10,5*	63,1 *9,57* d	70 *13,41*	66,1 *15,46* cd	74,8 *12,13*	***	** b	a	n.s.	0,53
Diamètre au collet (mm) (dia)	9,9 *2,74* a	11,29 *2,78*	9,47 *1,74* a	11,8 *1,52*	8,33 *1,32* ab	10,46 *1,41*	10,36 *2,04* a	9,61 *2,71*	7,76 *1,94* abc	9,55 *2,02*	6,6 *1,19* bc	8,76 *1,55*	6,46 *1,74* c	7,66 *1,72*	***	*** b	a	n.s.	0,32
Biomasse foliaire/biomasse totale (lmr)	0,2 *0,04* c	0,22 *0,05*	0,25 *0,04* bc	0,22 *0,03*	0,26 *0,03* b	0,26 *0,03*	0,25 *0,04* b	0,27 *0,06*	0,29 *0,08* ab	0,27 *0,07*	0,33 *0,06* a	0,32 *0,03*	0,31 *0,05* a	0,32 *0,05*	***	n.s. /	/	n.s.	0,4
Surface foliaire (m^2) (sfc)	0,18 *0,08* ab	0,29 *0,12*	0,27 *0,1* a	0,27 *0,07*	0,17 *0,04* bc	0,22 *0,05*	0,16 *0,04* bc	0,2 *0,08*	0,15 *0,08* c	0,16 *0,05*	0,11 *0,04* c	0,16 *0,06*	0,11 *0,06* c	0,16 *0,06*	***	** b	a	n.s.	0,36
Efficience de croissance (g de carbone/m^2 feuilles) (efc)	149,65 *39,44* a	109,38 *22,19*	104,58 *14,6* ab	120,15 *19,71*	117,28 *17,94* b	113,77 *21,09*	122,74 *26,81* ab	100,9 *22,9*	120,06 *33,25* ab	120,07 *37,17*	89,02 *23,02* c	92,93 *23*	99,29 *25,32* b	88,63 *16,43*	***	n.s /	/	*	0,2
Biomasse racinaire/ biomasse totale (rmr)	0,43 *0,07* a	0,49 *0,05*	0,39 *0,03* ab	0,38 *0,05*	0,42 *0,05* ab	0,33 *0,07*	0,37 *0,07* b	0,35 *0,07*	0,42 *0,14* ab	0,4 *0,1*	0,42 *0,1* ab	0,38 *0,07*	0,46 *0,1* ab	0,4 *0,11*	**	* a	b	n.s.	0,27
Biomasse racinaire/ surface foliaire (g/m^2) (rsf)	150,51 *40,51* a	126,97 *30,04*	97,7 *16,77* ab	109,95 *22,8*	116,12 *31,58* ab	90,14 *32,51*	110,83 *37,27* b	82,05 *24,73*	123,99 *63,32* ab	120,46 *62,42*	88,86 *34,88* b	84,94 *36,81*	112,51 *46,89* b	86,01 *38,49*	**	* a	b	n.s.	0,18

n.s. : différence non significative , * significative ($p < 0,05$) ; ** hautement significative ($p < 0,01$) ; *** très hautement significative ($p < 0,001$).

DISCUSSION

Nos résultats confirment une forte variabilité dans la croissance initiale. La vigueur importante de certaines provenances pourrait s'expliquer par les effets combinés d'une meilleure efficience de croissance (c'est-à-dire d'une production de biomasse par unité de surface foliaire plus élevée), constatée dans le cas de ces provenances, et d'une surface foliaire plus importante.

La consommation d'eau par les provenances les plus vigoureuses est plus élevée que celle des autres, par suite d'une surface foliaire plus développée, mais sans doute sans augmentation de conductance stomatique (l'efficience de l'eau restant meilleure dans ces provenances vigoureuses). Ce facteur pourrait contribuer au manque de succès des provenances à croissance initiale rapide, placées dans des conditions sèches. Cependant, nous n'avons pas détecté l'interaction attendue entre provenance et disponibilité en eau du sol sur la croissance, ni sur aucune variable. La réaction à la sécheresse est peut-être de même ampleur pour toutes les provenances testées. Cependant, le taux de survie à long terme en situation de sécheresse n'a pas été testé ; une forte différenciation pourrait intervenir entre provenances, en présence de sécheresse plus poussée et de plus grande durée.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Nous avons montré que *Faidherbia albida* était une espèce sensible, voire très sensible à la sécheresse édaphique (expérience de dessèchement poussé en pot) ; ceci confirme notre hypothèse de départ selon laquelle la disponibilité en eau peut devenir un facteur limitant crucial pour la croissance et l'installation de *Faidherbia albida*.

Nous avons estimé que, selon le site étudié, compte tenu de la profondeur du sol, de la présence d'une nappe et de l'âge (sous-entendu de la surface foliaire) des individus, l'évolution des potentiels hydriques au cours de la saison sèche traduit des niveaux de contrainte hydrique différents, susceptibles d'avoir des répercussions significatives sur la croissance.

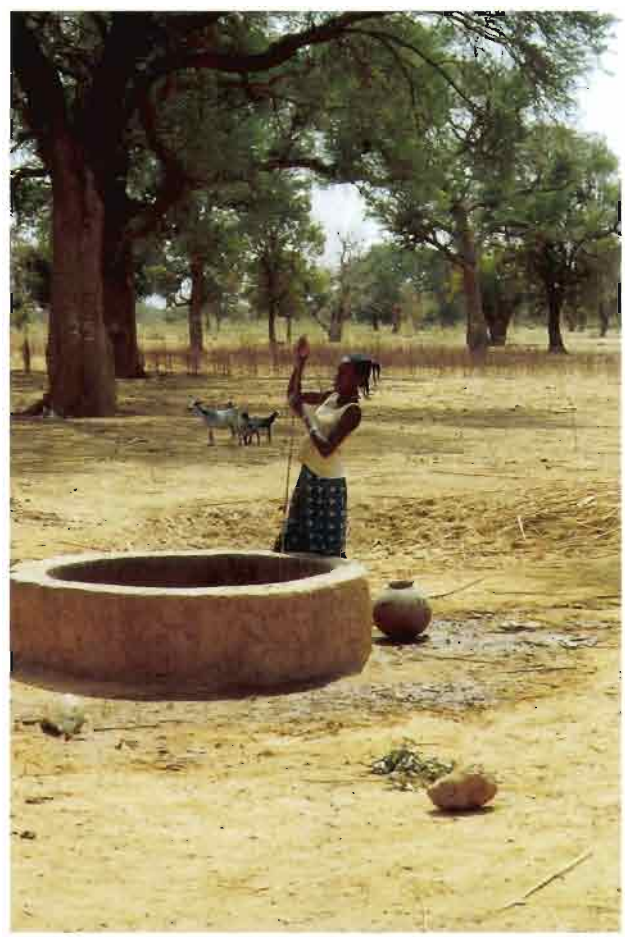
Nous avons retrouvé une forte variabilité dans la croissance de diverses provenances de *Faidherbia albida,* conformément à des expériences en plein champ (BASTIDE, DIALLO, 1996) ou de laboratoire (MARUNDA, 1994). Les provenances à forte croissance initiale ont aussi une forte surface foliaire, ce qui conduit naturellement à une plus grande consommation d'eau. Ces provenances montrent également une forte efficience d'utilisation de l'eau et une faible discrimination isotopique $^{13}C/^{12}C$.

- **Cette variabilité interprovenances du fonctionnement hydrique ouvre la voie à un criblage de variétés à la fois performantes et adaptées aux conditions de terrain**

On peut présenter la définition de W sous la forme suivante (formulation de J. Passioura) :

Croissance = W × consommation d'eau.

Cette présentation exprime qu'il est intéressant de sélectionner pour une forte W. Cependant la question



Le peuplement de *Faidherbia albida* puise son eau dans une nappe phréatique permanente où les villageois ont creusé des puits.

de la consommation en eau, ou plus exactement celle de la limitation de cette consommation par la disponibilité en eau, est cruciale et doit s'envisager au cas par cas selon la nature du réservoir :

• Si l'on dispose d'un site d'implantation dont on sait que la ressource est illimitée et rapidement accessible (présence d'une nappe à une profondeur modérée), par exemple le site des « flux » à Dossi, **il semble logique de choisir les génotypes à forte croissance** et, de préférence, **ceux qui consomment peu** (afin de ne pas assécher le site). Un moyen simple et rapide de découvrir la bonne provenance serait de semer en pot un vaste éventail de provenances, de mesurer leur croissance et de choisir, parmi les plus vigoureuses, celles dont le Δ est le plus faible ou encore le meilleur compromis des deux caractères. On fera alors l'hypothèse que la croissance initiale est un bon indicateur de la productivité des adultes, de même pour Δ. On supposera aussi (ou mieux on établira) qu'il n'existe pas d'interaction entre provenance et disponibilité en eau pour Δ, même pour des niveaux de sécheresse plus prononcés que ceux déjà testés ou pour des durées de sécheresse plus longues.

• Si le réservoir d'eau n'est pas limité, mais difficilement accessible, il faudra privilégier des génotypes à fort pouvoir d'enracinement. Nous n'avons pour l'instant aucune information à ce sujet. Ces génotypes risquent de présenter une faible croissance aérienne initiale, ce qui contribuera à une économie d'eau. Il est assez probable que les provenances ouest-africaines remplissent assez bien ces conditions. Il serait sans doute souhaitable de se pencher sur la variabilité de la croissance racinaire et sa sensibilité à la sécheresse en rhizotrons. Une autre opportunité serait d'ouvrir la voie aux greffages, sur des souches issues de provenances à développement racinaire efficace.

• Si le réservoir d'eau est limité, on choisira plutôt des provenances à faible développement foliaire et à faible Δ ou, mieux, on renoncera à implanter une espèce sensible à la sécheresse comme *Faidherbia albida*, au profit d'espèces résistantes.

■ Diagnostic des échecs relatifs à l'acclimatation de certaines provenances

Cette mauvaise acclimatation se traduit soit par une mauvaise croissance, soit par de faibles taux de survie. Il est tentant de chercher à expliquer le manque de succès de certaines provenances par des statuts hydriques différents.

Il serait possible d'étudier la variabilité du statut hydrique :

• en réalisant une cartographie des potentiels hydriques sur l'essai en fin de saison sèche ;

• en échantillonnant des feuilles ou des cernes afin de classer les provenances et les individus pour Δ ;

• en recherchant des corrélations entre Δ et les potentiels (sur les feuilles) ou entre Δ et la pluviométrie annuelle (sur les cernes).

■ Autres perspectives

Pour *Faidherbia albida*, la discrimination isotopique du carbone est un estimateur indirect, mais intégré dans le temps, de l'efficience d'utilisation de l'eau. Elle constitue un outil puissant d'estimation de W à moindre frais. Cette technique peut maintenant être employée à une plus grande échelle pour la comparaison de nombreuses provenances et être étendue à l'analyse des situations de terrains, avec deux applications potentielles : l'analyse de la variabilité interannuelle d'efficience, à partir des variations de composition de cernes, et celle de la variabilité stationnelle. Les travaux à venir porteront sur l'application de cette technique à des arbres en parcs. Par ailleurs, l'estimation de la consommation totale d'eau par les adultes ouvre d'intéressantes perspectives ; le caractère quasi phréatophyte de *Faidherbia albida* a été confirmé ; des analyses plus poussées des profondeurs de prélèvement de l'eau restent à mettre en place. Cependant, nous devons reconnaître que l'épineuse question du déterminisme de l'inversion de phénologie des adultes n'est pas résolue. L'hypothèse selon la quelle la défeuillaison en fin de saison sèche serait reliée à une contrainte hydrique importante n'a pas été confirmée.

De telles analyses écophysiologiques permettront d'apporter des informations complémentaires à la fois sur la biologie de cette espèce si particulière et sur la variabilité génétique de ces caractères.

Remerciements : *Les auteurs remercient tout particulièrement D. DEPOMMIER pour les avoir aidés à mettre en place des dispositifs à Dossi et pour les avoir fait profiter de son expérience de terrain, ainsi que J.-M. DESJEUNES, J.-M. GLORIA et J. BERTHIER pour leur collaboration durant la longue expérimentation sur plantes en pots à Nancy.*

Olivier ROUPSARD
IRBET/CNRST
03 BP 7047
Ouagadougou (Burkina Faso)

Hélène I. JOLY
CIRAD-Forêt
U.R. Diversité et Amélioration Génétique
BP 5035
34032 Montpellier CEDEX 1 (France)

Erwin DREYER
INRA Nancy
Unité d'Ecophysiologie Forestière
54280 Champenoux (France)

Crédit photos D DEPOMMIER, R PELTIER, O ROUPSARD

ABRÉVIATIONS

A	assimilation nette de CO_2 ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)
A/g	efficience intrinsèque d'utilisation de l'eau ($mmolCO_2\ mol\ H_2O^{-1}$)
bae	biomasse aérienne (g)
bfe	biomasse foliaire (g)
bra	biomasse racinaire (g)
bto	biomasse totale (g)
btr	biomasse tige + rameaux (g)
cfi	consommation finale en eau (g)
cto	consommation totale en eau (l)
Δ	discrimination isotopique du carbone (p. mille)
dfl	densité de flux de sève ($l\ dm^{-2}\ h^{-1}$)
dia	diamètre au collet (mm)
δw	déficit de fraction molaire de vapeur d'eau entre les sites d'évaporation mésophylliens et l'atmosphère ($mmol\ mol^{-1}$)
efc	efficience de croissance ($g\ m^{-2}$)
ETP-Penman	évapotranspiration potentielle (mm)
F	flux de sève ($l\ h^{-1}$)
ϕ	proportion du carbone fixé qui est perdu (respiration nocturne, mortalité des jeunes racines, émissions gazeuses organiques, exsudats...)
g	conductance stomatique pour H_2O ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$)
g_L	conductance hydraulique ($l\ h^{-1}\ MPa^{-1}$)
k	concentration en carbone
lmr	fraction de biomasse foliaire/totale
lon	longueur de tige (cm)
PFD	densité de flux de photons ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)
rmr	fraction de biomasse racinaire/totale
rsf	biomasse racinaire par unité de surface foliaire ($g\ m^{-2}$)
sfc	surface foliaire totale calculée (m^2)
W	efficience d'utilisation de l'eau (biomasse totale/ eau consommée) ($mg\ M.S.\ g^{-1}$)
Ψ_b	potentiel de base (MPa)
Ψ_{min}	potentiel minimal (MPa)

1 MPa = 10 bars

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BASTIDE (B.), DIALLO (B.), 1996. — Comparaison de provenances de *Faidherbia albida* en plantation au Burkina Faso. *In :* Les parcs à *Faidherbia albida.* Nogent-sur-Marne, France, CIRAD-Forêt.

BILLAND (A.), DE FRAMOND (H.), 1991. — Variabilité génétique d'*Acacia albida* en essais comparatifs de provenances au Burkina Faso. *In :* Physiologie des Arbres et Arbustes en Zones arides et semi-arides. Riedacker A. Dreyer E., Joly H., et Bory G. eds. Groupe d'études de l'Arbre, Paris, p. 235-248.

DEPOMMIER (D.), DÉTIENNE (P.), 1996. — Croissance de *Faidherbia albida* dans les parcs du Burkina-Faso. *In :* Les parcs à *Faidherbia albida.* Nogent-sur-Marne, France, CIRAD-Forêt.

FARQUHAR (G.D.), EHLERINGER (J.R.), HUBICK (K.T.), 1989. — Carbon isotope discrimination and photosynthesis. Annu. Rev. Plant Physiol., 40 : 503-537.

FARQUHAR (G.D.), RICHARDS (R.A.), 1984. — Isotopic composition of plant carbon correlates well with water use efficiency of wheat genotypes. Aust. J. of Plant Physiol., 11, 40 : 539-552.

GRANIER (A.), 1985. — Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. Ann. Sci. For., 42 (2) 193-200.

GUEHL (J.M.), NGUYEN-QUEYRENS (A.), LOUSTAU (D.) et FERHI (A.), 1995. — Genetic and environmental determinants of water use efficiency and carbone isotopediscrimination in forest tree. *In :* Eurosilva, a contribution to modern forest tree physiology. M. Bonnet Masimbert et H. Sandermann eds, les colloques de l'INRA, N72.

JARVIS (P.G.), 1975. — Water transfer in plants. *In :* Heat and Mass Transfer in the Plant Environnement. D.A. de Vries and N.G. Afgan eds., Part 1 369-394. Washington, D.C, USA, Scripta Book Company.

LU (P.), BIRON (P.), BREDA (N.), GRANIER (A.), 1995. — Water relations of adult noray spruce *(Picea abies)* under soil drought in the Vosges moutains : waterpotential, stomatal conductance and transpiration. Ann. Sci. For., 52 : 117-129.

MARUNDA (C.T.), 1993. — Geographical variation and physiological studies. *In : Faidherbia albida* (Del.). Mémoire de Maîtrise, Australian National University, Dept. of Forestry.

ROUPSARD (O.), GROSS. (P.), DREYER (E.), 1996. — Limitation of photosynthetic activity by CO_2 availability in the chloroplasts of Oak leaves from different species during drought. Ann. Sci. For. (sous presse).

VON CAEMMERER (S.), FARQUHAR (G.D.), 1981. — Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchanges of leaves. Planta., 153 : 376-387.

RÉSUMÉ

L'étude du comportement de *Faidherbia albida* face à la sécheresse se justifie d'emblée à l'examen de son aire de répartition et de son renversement de phénologie entre le stade juvénile et le stade adulte

Notre première question est d'un intérêt plutôt fondamental et cherche à élucider la stratégie des adultes qui leur permet de franchir la saison sèche à l'état feuillé

• Les arbres sont-ils soumis, en fin de saison sèche, à une contrainte hydrique édaphique ?

• Celle-ci se traduit-elle par une réponse physiologique (fermeture des stomates, réduction ou arrêt de croissance, chute des feuilles...) ?

• L'espèce fait-elle preuve d'une certaine plasticité dans son comportement, lorsque les conditions de disponibilité en eau varient, et quelles sont ses limites ?

En comparant plusieurs sites d'un même parc, nous avons découvert que ceux où une nappe est accessible en permanence permettent aux arbres une transpiration et une croissance quasi optimales pendant toute la durée de la saison sèche, avec peu de changement dans les potentiels de base et dans le flux de sève ; d'autres au contraire, au réservoir hydrique probablement plus limité, induisent une régulation stomatique de la transpiration et vraisemblablement une réduction associée de la croissance.

La relation entre la contrainte hydrique du sol et la croissance a été décrite en pots sur des juvéniles de 18 mois Elle a montré que les plants régulaient leur transpiration et leur croissance pour des niveaux de sécheresse très modérés L'arrêt de croissance est décelé pour un potentiel de base de – 1,0 MPa, ce qui est un comportement caractéristique d'espèces dites « évitantes » de la sécheresse, et qui laisse penser que les adultes eux-mêmes en conditions naturelles n'ont pas développé de stratégies de résistance, et ne poussent correctement que s'ils sont capables d'accéder à des réserves en eau importantes.

Notre seconde question est d'un intérêt plus appliqué :

— pourquoi des provenances panafricaines placées en plantations comparatives de provenances dans des zones soudaniennes ou soudano-sahéliennes montrent-elles selon les sites choisis de fortes variations de classement pour la croissance et le taux de survie ? La sécheresse édaphique est-elle un bon candidat à l'explication de ces interactions apparentes entre génotype et environnement ?

En étudiant la croissance initiale et la consommation d'eau en pot d'un lot de provenances panafricaines, nous avons pu montrer que les provenances à forte vigueur initiale consommaient davantage Ceci peut s'expliquer en grande partie par une surface foliaire transpirante plus élevée Une plus forte transpiration, associée à un réservoir limité (cas des juvéniles qui n'auraient pas encore rencontré la nappe), pourrait être un désavantage puisque la durée de la période de sécheresse édaphique s'en trouverait prolongée.

Nous montrons aussi que la vigueur initiale est corrélée positivement avec l'efficience d'utilisation de l'eau, (biomasse/eau consommée). Ce critère est potentiellement intéressant pour l'étude de la tolérance à la sécheresse, et pourrait servir de variable complémentaire dans le cadre de programmes d'amélioration génétique, d'autant qu'il peut être estimé par une simple mesure de la discrimination isotopique du carbone, Δ, ainsi que l'indiquent nos résultats

En définitive, il apparaît dans cette étude que l'effet de la sécheresse sur la croissance doit se décliner au minimum en fonction de l'âge, de la phénologie, de la réserve hydrique du sol (et de son accessibilité), de la morphologie racinaire, de la surface foliaire et de la provenance

Mots-clés : Croissance Sève Relation plante-eau Métabolisme hydrique Besoin en eau. Isotope. Carbone.

ABSTRACT

Study of the behaviour of *Faidherbia albida* in drought conditions will straight away involve an examination of its climatic zone, and its phenological reversal between the juvenile stage and the adult stage

Our first question is a somewhat fundamental one, which attempts to shed light on the strategy adopted by adult specimens, that helps them to withstand the dry season while in leaf :

• At the end of the dry season, are the trees subject to any soil-related water restriction ?

• Is this expressed by a physiological response (stomatal closure, reduction or cessation of growth, leaf-shedding..) ?

• Does the species show a certain plasticity in its behaviour when water availability varies, and what are its limits ?

By comparing several sites in the same parkland, we discovered that those where groundwater is consistently accessible enable the trees to display almost optimum transpiration and growth throughout the dry season, with little change in the predawn water potentials and in the sap flow. Others, on the contrary, with a probably more limited water reservoir, give rise to a stomatal regulation of transpiration, and probably an associated growth reduction.

The connection between groundwater restriction and growth has been described for potted 18-month-old juvenile specimens. It has shown that seedlings regulated their transpiration and their growth for very moderate levels of drought. Growth cessation is revealed for a predawn water potential of -1.0 MPa, which is a characteristic behavioural pattern for so-called « drought-avoiding » species. This would suggest that, in natural conditions, adult specimens themselves have not developed resistance strategies, and only grow properly if they are able to have access to substantial water reserves.

Our second question has a more applied aspect :

• Why, depending on the sites chosen, do seeds of pan-African origin, placed in provenance comparative plantations in Sudanian or Sudano-Sahelian zones, show marked differences for growth and survival rates Does soil-related drought represent a valuable factor when it comes to explaining these interactions between genotype and environment ?

By examining initial growth rates and water consumption in pots in a batch of seedlings of pan-African origin, we have managed to show that seedlings with high initial vigour consumed more water. This may largely be explained by a greater transpiring leaf surface Higher transpiration, associated with a limited water reservoir (this applies to juvenile trees which have not yet found the groundwater) might well be a disadvantage, because the length of the period of soil-related drought would thus be extended.

We also show that initial vigour is positively correlated with water use efficiency (biomass/water consumed) This criterion is potentially interesting for the study of drought tolerance, and might serve as a complementary variable in genetic improvement programmes, all the more so because it can be estimated by a simple measurement of carbon isotope discrimination, Δ, as is indicated by our findings

Finally, it appears in this study that the effect of drought on growth is a function of age, phenology, groundwater reserves (and groundwater accessibility), root morphology, leaf surface, and origins.

Key words : Growth. Sap. Plant water relations. Water metabolism. Water requirements Isotopes. Carbon

FAIDHERBIA ALBIDA ET PRODUCTION COTONNIÈRE

Modification du régime hydrique et des paramètres de rendement du cotonnier sous couvert du parc arboré au Nord-Cameroun

par Christophe LIBERT, agroforestier, Ministère de la Coopération
et Oscar EYOG MATIG, pédologue et écophysiologiste, IRA

Sarclage du coton dans un jeune parc à faidherbia (en début de saison des pluies, l'arbre peu ou pas feuillé ne porte pas d'ombrage sur la culture).

Un parc arboré s'exprime par la présence répétitive de certaines essences arborées qui sont en véritable symbiose avec les cultures (SEIGNOBOS, 1982).

Une synthèse des différents travaux sur les parcs arborés a été réalisée par RAISON (1988), mais elle passe sous silence les connaissances acquises dans ce domaine au Nord-Cameroun ; en effet, s'il existait des descriptions minutieuses des parcs existants, peu d'études expérimentales, agronomiques ou agroforestières avaient eu lieu dans cette région. La section Forêts de l'IRA * de Maroua a donc initié en 1989 un travail pluridisciplinaire sur le thème « Parcs arborés et cultures associées au Nord-Cameroun ».

Dans le parc arboré dominé par *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. (syn. *Acacia albida* Del.), il est maintenant admis que les arbres ont un effet certain sur les cultures associées. CHARREAU et VIDAL (1965), puis DANCETTE et POULAIN (1968) **, ainsi que LOUPPE (1989, 1990) ont montré qu'en zone sahélienne les céréales ont sans conteste un rendement bien meilleur sous un tel parc.

En 1989, OULDRA a réalisé des premières observations en milieu rural à l'IRA de Maroua sur l'association *Faidherbia albida*/Coton (*Gossypium hirsutum*). Son travail a montré, outre un enrichissement du sol en éléments minéraux sous les arbres, une amélioration du rendement de cette culture dans le parc à *Faidherbia albida,* en particulier sur les stations de faible productivité.

En 1990, nous avons poursuivi les observations d'OULDRA en analysant de façon plus fine les caractéristiques des cultures associées dans ces « parcs », d'une part sous des arbres isolés, d'autre part dans des peuplements denses. Nous avons également étudié les modifications des propriétés du sol.

En 1992, la recherche s'est poursuivie de manière plus analytique, axée sur les thèmes suivants :

- Modifications du fonctionnement hydrique de l'écosystème, induites par l'arbre.
- Modifications de l'évolution des végétaux de l'écosystème.

Nous aborderons tout d'abord les premiers résultats d'observations (1990), puis analyserons les résultats des études plus explicatives (1992).

* Institut de la Recherche Agronomique du Cameroun.
** *In :* C.T.F.T., 1988.

LE SITE D'ÉTUDE : LE PARC À *FAIDHERBIA ALBIDA*

• **La région de Tokombéré**

Nous avons travaillé à Tokombéré, au Nord-Cameroun. Le climat est de type soudano-sahélien (AUBREVILLE), avec une saison sèche et une saison des pluies marquées ; cette dernière s'étale généralement de fin juin à début octobre avec un maximum de précipitations au mois d'août. La pluviométrie moyenne * annuelle est de 800 mm, avec cependant une grande variabilité d'une année sur l'autre.

Le parc à *Faidherbia albida* est installé en terrain alluvial, au bord d'un mayo **. Le substrat géologique est constitué d'alluvions récentes sableuses, apportées des monts voisins.

• **Construction du parc à faidherbia**

La plaine alluviale est restée peu peuplée jusqu'à une époque récente. Les villageois situent leur installation sur le terroir (rive droite du mayo) vers 1965. Avant leur venue, la végétation ligneuse comptait de multiples essences, dont quelques faidherbias, probablement amenés par les troupeaux des Foulbé ***. En s'établissant, les agriculteurs et les éleveurs ont conclu une entente à bénéfices réciproques : en saison sèche, les troupeaux sont laissés à la pâture sur les résidus de cultures, en échange de quoi les champs sont fumés.

Afin d'améliorer cette coopération, les paysans n'ont au cours des défrichements conservé qu'une seule espèce arborée dans les champs : *Faidherbia albida*. Cet arbre représente un excellent compromis pour les deux parties : son rythme de feuillaison désaisonné l'empêche de trop porter ombrage aux cultures environnantes, tandis que ses feuilles et ses gousses constituent un fourrage non seulement d'excellente qualité mais disponible jusqu'à la période de « soudure ».

Les agriculteurs de Tokombéré entretiennent leur parc à faidherbia en sélectionnant régulièrement de jeunes arbres.

• **La parcelle d'étude**
(cf. tableau I)

L'ensemble de la parcelle retenue pour l'étude, arbitrairement délimitée d'un côté par la route, de l'autre par le mayo, couvre 37,7 ha.

La topographie d'ensemble est plane, homogène, avec cependant un microrelief non négligeable.

La densité des arbres est de 6,7 tiges/ha, dont 81 % de faidherbia, tandis que la surface terrière moyenne

* Valeur établie d'après les travaux de BEAUVILAIN (1989).
** Cours d'eau à écoulement temporaire de type oued, ne se remplissant que pendant et après une pluie pour évacuer le surplus d'eau. En saison sèche, ils ont un écoulement souterrain, dans leur propre lit d'alluvions, appelé inféroflux (DUBREUIL, 1962).
*** Foulbé est le nom que se donnent les éleveurs peuls sédentarisés au Nord-Cameroun.

TABLEAU I
Caractéristiques dendrométriques * du « parc arboré » de Tokombéré

	Densité (tiges/ha)	Surface terrière (m^2/ha)	Couvert (%)	Hauteur moyenne (m)	Diamètre moyen (cm)
Toutes espèces	6,7	2,4	10	12	60
Faidherbia albida	5,5 (81 %)	1,80 (74 %)	8,7	12	56

* La hauteur est déterminée au dendromètre Blume-Leiss, le diamètre est mesuré avec un ruban gradué.

de 2,4 m^2/ha n'est due que pour 74 % à cette espèce. Le couvert des houppiers est de 10 %, 8,7 % étant dus au faidherbia. Les hauteurs s'échelonnent de 2,5 à 23 m (3 à 22 m pour faidherbia), et on peut trouver des diamètres depuis 5 cm (la limite inférieure de comptage) jusqu'à 145 cm (voire 180), la moyenne se situant autour de 60 cm (56 pour les seuls faidherbias). Le parc peut être qualifié de « monospécifique ».

La sole de culture est à rotation biennale coton-sorgho. Les deux années d'étude (90 et 92) concernent le coton.

LES PREMIERS TRAVAUX D'OBSERVATION 1990

- **Méthodes et finalités**

Nous nous sommes tout d'abord proposés d'approfondir les résultats d'OULDRA : d'une part, sur l'effet d'un arbre isolé en travaillant sur moins de variables, mais de façon plus fine et sur un plus grand nombre de sujets et, d'autre part, sur un « effet peuplement » en observant les cultures sous un parc dense.

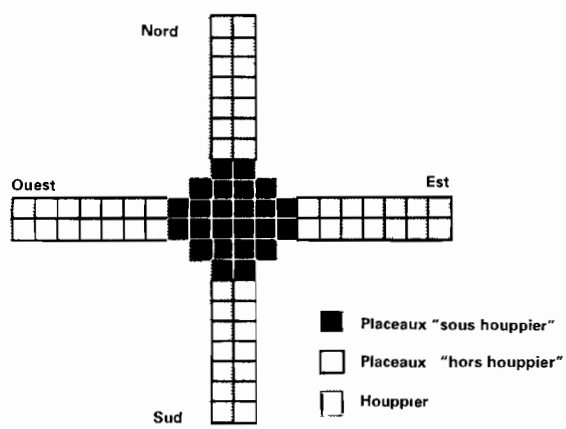
Au sein du parc, nous avons différencié des zones très peu boisées et des zones densément boisées, de façon à ne travailler que dans des situations extrêmes. Dans les premières nous avons choisi des « arbres isolés », afin d'expliciter l'effet individuel de chaque arbre ; les dernières nous ont fourni une zone au couvert et à la densité d'arbres plus importants qu'aux alentours, susceptible de recéler un « effet parc ». Une telle zone sera qualifiée de « zone de parc ».

Le choix des paramètres à mesurer a été effectué en collaboration avec la Section Coton de l'IRA.

En vue de proposer des solutions susceptibles d'être acceptées par les agriculteurs, nous avons délibérément choisi de prendre en compte l'ensemble des pratiques culturales et pastorales. Afin de perturber le moins possible celles-ci, nous avons procédé par enquêtes et par observations.

FIGURE 1

Schéma du dispositif « arbre isolé ».



ARBRES ISOLÉS

- **Dispositif**

Nous avons choisi un éventail de 30 arbres, couvrant toutes les classes de diamètre présentes sur la zone. Nous avons mesuré leurs caractéristiques dendrométriques (diamètre, hauteur, surface du houppier). Sous chaque individu (cf. fig. 1), nous avons dessiné un quadrillage de placeaux de 3,20 m de côté, couvrant toute la superficie cultivée à l'aplomb du houppier et se prolongeant en dehors de ce dernier dans quatre directions (nord, sud, est et ouest), jusqu'à une distance de 20 m du bord du houppier. Cette distance a été choisie d'après les travaux de LOUPPE, 1989, au Sénégal.

Sur chacun de ces placeaux, nous avons mesuré le poids de coton-graine, le nombre de plants, la hauteur, le nombre de branches et de capsules de chaque plant. A partir de ces mesures, nous avons calculé :

- le rendement en coton-graine,
- le poids moyen capsulaire,
- la hauteur moyenne des cotonniers et le coefficient de variation,
- le nombre moyen de capsules par plant,
- le nombre moyen de branches par plant.

Comme la densité des semis et la surface des placeaux sont les mêmes partout, le nombre de plants correspond à un taux de survie des cotonniers.

Nous avons d'abord comparé globalement les valeurs de ces sept variables sous houppier à celles hors houppier, à l'aide d'un test de Student (comparaison de moyennes d'échantillons indépendants), puis observé les gradients nord, sud, est et ouest. Dans les lignes qui suivent, seules sont prises en compte les différences significatives au seuil d'erreur de 5 %.

- **Résultats**

Dans 15 cas sur 16, on observe une hauteur moyenne des cotonniers plus élevée sous faidherbia. En moyenne, cette augmentation est de l'ordre de 24 %. Nos conclusions sont donc similaires à celles obtenues par J.C. OULDRA. Cet effet, déjà observé sur les cultures de céréales, semble pouvoir être étendu au coton.

Par ailleurs, le coefficient de variation de la hauteur moyenne, qui représente la dispersion des hauteurs autour d'une valeur moyenne, est plus faible sous houppier.

La présence de *Faidherbia albida* permet donc d'obtenir en moyenne des plants plus grands et de taille plus régulière sous le houppier.

Le nombre de plants est moins élévé sous faidherbia, de 20 % en moyenne. Concernant ce phénomène, J-M. HARMAND (communication personnelle) émet l'hypothèse suivante :

« La compacité du sol sous les arbres, due au tassement par les animaux et les hommes qui y stationnent à l'ombre durant la saison sèche, a certainement augmenté le ruisselement et limité le développement des plantules de coton, en particulier en cas de semis sans travail du sol ».

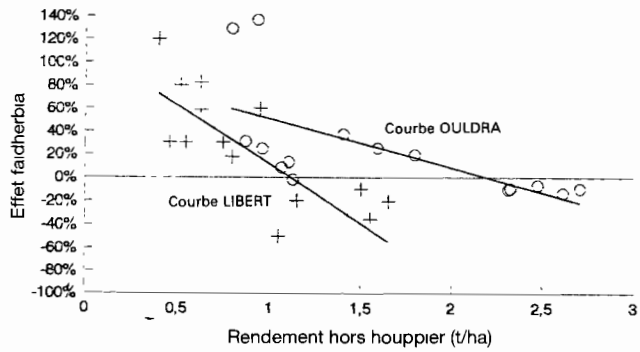
Les variables : « nombre de capsules par plant » et « nombre de branches par plant » ne donnent pas de différences significatives entre les deux situations. Il n'y a pas de relation évidente entre le surplus de croissance en hauteur et la fructification.

Le Poids Moyen Capsulaire (PMC), dans 15 cas sur 19, est significativement plus élevé sous houppier, de 27 % en moyenne. M. CRETENET (communication personnelle) estime que cette augmentation pourrait être due à une plus grande richesse minérale du sol, en particulier une plus grande disponibilité en azote minéral.

Les résultats de l'analyse du rendement en coton-graine sont plus nuancés : 9 arbres sur 15 montrent un « effet *faidherbia* » * en faveur de la culture sous l'arbre, 6 en défaveur. Cependant, un test de Fischer

FIGURE 2
Effet de *F. albida* sur la production en coton graine. Comparaison entre les données d'OULDRA et celles de LIBERT et EYOG MATIG.

Y (OULDRA) = 93,6-42,6 × rendement hors houppier (r = 64 %).
Y (LIBERT) = 114-102 × rendement hors houppier (r = 80 %).



montre une liaison entre la variable « effet *faidherbia* » et le rendement. La meilleure régression linéaire est obtenue avec le rendement hors houppier ; l'équation de régression (cf. fig. 2) est :

$y = 114 - 102\ x$ (r = 80 %)

avec y = « effet *faidherbia* » en %

et x = rendement hors houppier en tonnes/ha.

***Faidherbia albida* aurait donc un effet variable en fonction de la fertilité de la station ; il favorise les cotonniers en mauvaises conditions et les concurrence lorsque les conditions sont meilleures.**

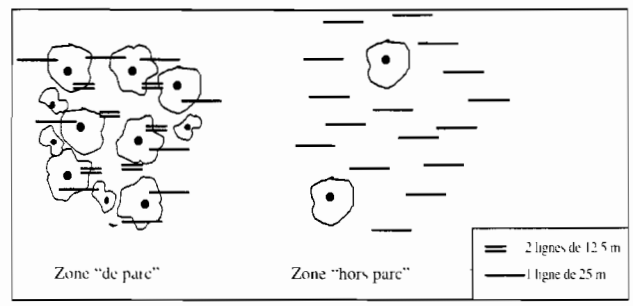
Par ailleurs, nous avons tenté d'expliquer le rendement en fonction des six autres variables à l'aide de régressions linéaires multiples. Le poids moyen capsulaire apparaît comme le premier facteur explicatif, responsable de 67 % à 72 % de la dispersion. Ensuite, les variables les plus explicatives sont, par ordre d'importance, le nombre de branches ou de capsules par plant, puis la densité de plants.

* Nous appellerons « Effet faidherbia », pour une variable donnée (le plus souvent, il s'agit du rendement), la quantité arithmétique :
[(valeur sous houppier - valeur hors houppier) ÷ valeur hors houppier] × 100 = x %,
soit l'augmentation constatée sous houppier par rapport à l'extérieur, rapportée à l'extérieur. Elle sera exprimée en pourcentage.

La dose d'engrais appliquée au coton n'intervient pas dans ces régressions, ni dans aucune des analyses. Bien que nous ayons pris en compte l'engrais officiellement fourni et son mode d'épandage, nous n'obtenons pas de résultats significatifs. En effet, outre l'engrais « officiel » (cinq unités d'azote à l'hectare), les champs reçoivent de l'engrais restant de l'année précédente ou provenant du marché local, ainsi que la fumure du bétail (qui est de loin le principal amendement).

FIGURE 3

Schéma du dispositif « parc ».



ÉTUDE D'UN PARC

• Dispositif

Une autre partie du parc, un grand champ dans lequel voisinaient une zone entièrement nue et une zone dense au couvert important, nous a fourni le matériel de l'étude « parc ». Les arbres, tous des faidherbias, étaient de faible diamètre (34 cm de diamètre moyen), en densité relativement élevée : 37 tiges/ha ; la surface terrière était de 3,6 m^2/ha (cf. tableau II) ; il s'agissait donc d'un parc récent. Les houppiers couvraient en moyenne 71 m^2 chacun, le couvert total atteignant 26 %. Ces chiffres peuvent paraître faibles en valeur absolue, mais ils sont importants par rapport à l'ensemble du terroir.

Pour mettre en évidence un éventuel effet « parc », nous avons comparé des mesures faites sur des placeaux pris sous parc aux mêmes mesures réalisées hors parc. Le placeau de mesure était cette fois une ligne de cotonnier de 25 m de long (ou deux lignes de 12,5 m côte à côte), cf. figure 3. Les lignes de cotonniers étant espacées de 80 cm, on obtient des placeaux de 20 m^2 = (0,8 m × 25 m). Les paramètres mesurés sur ces placeaux sont les mêmes que pour l'étude « arbres isolés ».

• Résultats

Une analyse de variance différencie un ensemble « sous houppier » d'un ensemble « hors houppier » pour les variables « densité de plants », « rendement » et « hauteur moyenne ». On retrouve les mêmes tendances que pour les arbres isolés en ce qui concerne la densité de plants (-13 %) et la hauteur moyenne des plants (+13 %). OULDRA avait d'ailleurs déja noté ce dernier phénomène.

Par contre, les rendements « sous parc » gagnent 32 % par rapport à l'extérieur, au lieu de diminuer de plus de 50 %, comme on pourrait le croire d'après la régression effectuée précédemment dans le cas d'arbres isolés (le rendement moyen hors houppier est de 1,58 t/ha, donc élevé).

• Discussion

Nous serions donc tentés de proposer l'interprétation suivante : un faidherbia isolé aurait plus d'effets négatifs (interception des pluies par le houppier, ombre des parties aériennes) que bénéfiques (remontées minérales, modification de la répartition spatiale de la réserve hydrique, enrichissement et amélioration de la structure du sol, régulation du microclimat) sur le rendement des cotonniers. A l'opposé, l'association de ces arbres en parc amplifierait plus les effets positifs élémentaires que les autres. Cette synergie pourrait être expliquée par l'apparition de nouveaux facteurs, tels que l'augmentation du taux d'humidité dans le sol et dans l'air ou le ralentissement de la circulation de l'air.

TABLEAU II

Comparaison des caractéristiques dendrométriques du « parc » et de l'ensemble du terroir

Variable (unité)	Densité (tiges/ha)	Surface terrière (m^2/ha)	Couvert (%)	Diamètre (cm)
« Parc » étudié	37	3,6	26	34
Ensemble du terroir	8,8	2,5	11	50

Sur cette photo du Burkina Faso, les deux enfants montrent à l'aide d'une feuille de papier la hauteur des tiges sèches de cotonnier.

Elle va en décroissant du pied de l'arbre vers l'extérieur, comme on l'a également constaté au Cameroun.

Il faut cependant relativiser ces résultats car on ne peut pas être certain de la validité du témoin « hors parc ». Nous sommes dans un parc jeune et les arbres se sont peut-être installés sur la meilleure zone car les conditons se prêtaient mieux à la germination des graines, du fait d'une plus forte capacité en eau (cf. article VAN DEN BELDT).

MODIFICATIONS DES PROPRIÉTÉS DU SOL

- **Méthode**

Nous avons effectué des prélèvements de sol sous six arbres (trois « jeunes » et trois « vieux ») dans les horizons 0-20 et 20-40 cm, dans les deux situations « sous houppier » et « témoin ». Chacun des 24 échantillons se compose d'un mélange de sept prélèvements au hasard autour d'un point de sondage virtuel. Les analyses, réalisées à l'Université de Dschang (Ouest-Cameroun), portent sur des paramètres de texture (S/L/A) et des paramètres physico-chimiques (pH, matière organique, azote, éléments minéraux, CEC).

Les caractéristiques dendrométriques des arbres retenus pour ces analyses figurent dans le tableau III.

- **Résultats**

Les résultats d'analyses, comparés aux chiffres établis par CARSKY (1992), montrent un sol légèrement différent de celui retenu comme site de référence régional. En effet, si la texture est à peu près semblable, la teneur en cations échangeables (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}), en matière organique et en phosphore assimilable, est plus élevée que la moyenne. Il en va de même pour la capacité d'échange. Le pH, quant à lui, est un peu plus basique (environ 0,5 unité de pH).

Nous avons tout d'abord effectué une analyse de variance dans laquelle les trois arbres de chaque classe « vieux » et « jeunes » sont considérés comme trois répétitions, les facteurs étudiés étant l'« âge », la position de prélèvement (sous houppier/témoin) et la profondeur de prélèvement (0-20 et 20-40 cm). Celle-ci ne différencie que les modalités du facteur « âge », pour

TABLEAU III

Caractéristiques dendrométriques des arbres autour desquels ont été faits les prélèvements de sol pour analyse

	Arbre	Diamètre à 1,30 m (cm)	Hauteur totale * (m)	Surface du houppier ** (m^2)
« Vieux »	1	108	19,5	279
	2	71	16,0	201
	3	78	13,0	251
« Jeunes »	4	34	10,0	88
	5	38	9,5	145
	6	33	12,5	64

* La hauteur totale est mesurée depuis la surface du sol jusqu'au bourgeon terminal (point le plus haut de l'arbre).

** Calculée à partir de la mesure de quatre rayons selon les quatre points cardinaux (R_N, R_S, R_E, R_O), d'après la formule :
$S = 3,1416 \times (R_N + R_S) \times (R_E + R_O)/4$.

les variables sable, limons fins, argile, matière organique, C/N et calcium. Le terrain au niveau des « jeunes » est plus riche en éléments fins, en matière organique et en calcium, tandis que le rapport C/N plus élevé (13,2 contre 10,4 en moyenne) témoigne d'une plus faible dégradation de la matière organique.

Une deuxième analyse de variance ne tenant pas compte des classes d'« âge » nous a permis de mettre en évidence une différence entre les prélèvements effectués sous les arbres et les témoins, pour le pH_{KCl} et le phosphore assimilable. Les valeurs de ces deux paramètres sont plus élevées sous les arbres.

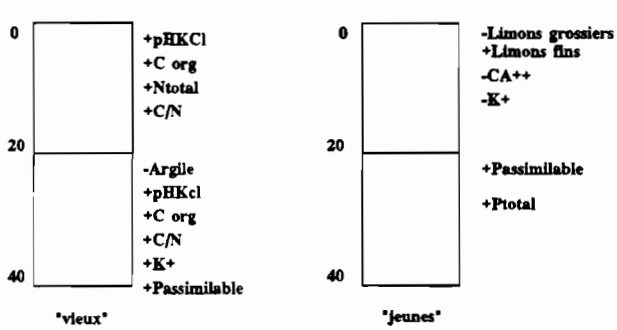
Enfin, le simple examen des tableaux de données rapportant les différences entre les situations « sous houppier » et « témoin » donne les tendances schématisées en figure 4.

Ces analyses de sol confirment en partie les résultats obtenus par ailleurs sur d'autres sols (C.T.F.T., 1988). On ne retrouve cependant pas la forte augmentation de l'azote, pourtant à la base de nombreuses thèses expliquant l'effet de l'arbre. Le rapport C/N semble suivre une évolution inverse à celle trouvée par CHARREAU (*In :* CTFT, 1988) : la dégradation de la matière organique serait plus lente sous l'arbre !

Les différences trouvées entre « sous houppier » et le témoin laissent cependant penser que l'arbre a un effet certain sur le sol. Les comparaisons « jeunes »-« vieux » sont à prendre avec précaution du fait de la distance sur laquelle s'étendent les mesures (800 m), mais on ne peut s'empêcher de remarquer que l'amélioration du sol est plus importante sous les vieux arbres.

FIGURE 4

Comparaison des caractéristiques de deux horizons du sol sous houppier et hors houppier pour deux groupes de faidherbia jeunes et vieux.
Le signe + signifie que la valeur est plus élevée sous houppier, le signe – le contraire.



PREMIÈRES CONCLUSIONS

Nous retiendrons de ces premières analyses que, dans le cas étudié, sous faidherbia isolé :

- Les cotonniers sont plus hauts et les hauteurs sont plus homogènes.
- Le taux de survie des plants est plus faible.
- Le poids moyen capsulaire est plus élevé.
- Il existe une forte corrélation entre la niveau de fertilité de la station et l'*effet faidherbia* dans le cas d'arbres isolés.
- La texture et la composition chimique du sol sont modifiées sous les houppiers. On peut s'attendre à trouver sous faidherbia un sol moins érodé, mais plus sableux *. Il est moins riche en calcium, la teneur en éléments nutritifs (phosphore, potassium, azote) et l'activité biologique y sont plus importantes. Cet effet semble d'ailleurs aller croissant avec l'*âge* des arbres.

Dans les deux cas (« arbre isolé » et « parc »), nous observons une augmentation de hauteur et une diminution de la densité de plants, mais ces deux tendances sont moins marquées dans le cas d'un parc.

L'étude de la répartition spatiale de la production (nord, sud, est, ouest) ne donne aucun résultat significatif.

Ainsi, *Faidherbia albida* pourrait-il aider à amorcer la mise en valeur de sols à faibles potentialités agricoles, susceptibles cependant de permettre le développement de cette espèce. Il faudrait, dans un premier temps, sélectionner au sein de la régénération naturelle un nombre assez élevé de tiges, qu'on laisserait ensuite croître en parc dense. De cette façon, sans bouleverser un agro-écosystème déjà fragile, la production serait améliorée. De telles pratiques culturales permettraient sans doute de combattre efficacement la formation de « Hardés » (sols indurés), qui est un problème crucial dans la région. Par ailleurs, il ne faut pas oublier les autres produits que fournit le faidherbia : fourrage de qualité (ses gousses sont très nutritives), disponible en période de « soudure », bois de chauffe et bois d'œuvre, pour ne citer que les principaux.

* Ndlr. L'augmentation du taux de sable sous houppier pourrait être liée à l'activité des termites qui entourent les débris végétaux qu'ils consomment par un manchon sableux ou par l'interception du sable éolien par le houppier.

UNE ÉTUDE PLUS ANALYTIQUE 1992

Forts des résultats de 1990, nous avons poursuivi l'étude dans une optique plus explicative en analysant trois ensembles de facteurs du milieu et répondant aux trois questions suivantes :

• L'arbre a-t-il une influence sur la disponibilité de l'eau pour les cultures ? On peut supposer en effet que l'arbre influe sur le fonctionnement hydrique du sol puisqu'ayant besoin d'eau pour son propre métabolisme, il intercepte les eaux de pluie et modifie l'ETR sous son couvert.

• Comment l'évolution des plantes (cultivées ou non) est-elle modifiée sous le couvert de l'arbre ?

• La présence de l'arbre influe-t-elle sur les facteurs d'érosion ?

MÉTHODES ET DISPOSITIF

• Choix des arbres et des placeaux d'étude

L'unité d'étude est constituée d'un arbre et de son environnement immédiat (culture de coton), que nous appellerons « site ». Nous avons retenu quatre sites, choisis en fonction :

• de la forme du houppier (deux grands arbres au port en V, deux arbres plus courts au port « en boule ») ;

• de la microtopographie : nous avons évité les endroits trop tourmentés et cherché à éliminer les sites en pente ;

• de la possibilité d'installer un site témoin * à 25 m dans des conditions similaires ;

• de la volonté des paysans de participer à l'expérimentation.

Pour chaque site, nous avons défini trois positions :

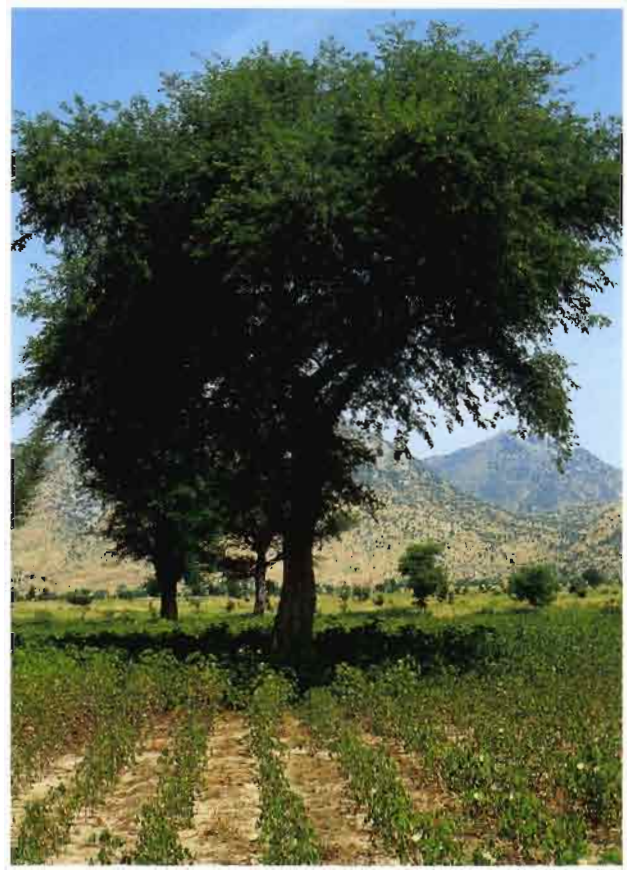
• « sous houppier », elle-même subdivisée en « près du tronc » (à 1 m de celui-ci) et « milieu du houppier » (à mi-rayon) ;

• « limite du houppier », entre 2 et 4 m à l'extérieur de l'aplomb de la limite du houppier ;

• témoin, à 25 m au moins de tout arbre.

Ces positions ne sont pas obligatoirement rencontrées dans tous les sites ni pour tous les appareillages d'étude.

* Nous définissons un site-témoin comme un site éloigné d'au moins 25 m de tout arbre.



Exemple de vieil arbre isolé sous lequel on a étudié les modifications du régime hydrique et le rendement du cotonnier.

De ce type d'implantation découle la nature des traitements de données, qui seront essentiellement des comparaisons de moyennes entre situations prises deux à deux. Les outils statistiques utilisés à cette fin sont le test de Student et l'analyse de variance.

Les caractéristiques dendrométriques des faidherbias étudiés sont résumées dans le tableau IV.

TABLEAU IV
Caractéristiques dendrométriques des sujets étudiés

Arbre	Diamètre à 1,30 m (cm)	Hauteur totale (m)	Surface du houppier (m^2)
1	39	12	84
2	75	16	273
3	78	19	198
4	28	11	52

L'EAU ET LE SOL

- **Profils pédologiques**

Deux profils pédologiques ont été décrits entre le 10 et le 20 août, un pour chaque implantation des tubes d'accès de l'humidimètre. Chaque fosse a été creusée en position intermédiaire (« limite de houppier ») entre les tubes « sous houppier » et les tubes témoins :

La première fosse fait apparaître un sol riche en éléments fins, qui part d'un limon sableux en surface pour arriver à un limon argileux vers 100 cm, puis passe ensuite à un sable argileux. Au-delà de 150 cm (cette transition est marquée par une accumulation d'éléments grossiers), on trouve un sable fin roux, ressemblant fort aux matériaux du mayo voisin.

La densité de ce sol croît de la surface (d = 1,19) à 1,5 m (d = 1,57), profondeur à laquelle nous nous sommes limités. Le profil est relativement compacté entre 60 et 150 cm.

Les traînées de rouille trouvées de 60 à 150 cm, ainsi que les concrétions ferruginisées entre 150 et 200 cm, pourraient indiquer la zone de battement d'une nappe temporaire.

Les petites racines, appartenant en majorité aux herbacées et aux cultures, explorent les 150 premiers centimètres de façon uniforme mais ne semblent pas pénétrer au-delà, même si nous avons trouvé une grosse racine de faidherbia (15 cm de diamètre) vers 150 cm.

Le profil de la deuxième fosse (arbre 3) reste sableux sur toute l'épaisseur prospectée. On retrouve un gradient d'entraînement des éléments fins (sable limoneux en surface, puis progressivement argileux, pour atteindre un maximum vers 1 m). Des cristaux de mica (blancs et noirs) saupoudrent l'ensemble du profil.

L'évolution de la densité suit celle de la teneur en éléments fins, pour atteindre également un maximum vers 1 m. Cependant le sol paraît nettement moins compacté, en particulier dans le premier horizon, ce qui est dû au labour pratiqué en culture attelée (dans le cas précédent, le sol avait été remué superficiellement à la houe) et probablement à la présence de termites.

Le sable fin, puis limoneux, trouvé entre 100 et 175 cm est différent en couleur et en texture de celui du mayo. On retrouve ce dernier après un horizon riche en éléments grossiers, comme dans le cas précédent.

Il n'y a pas de traces de couleur rouille.

Les racines explorent ici préférentiellement les horizons de surface (0-30 cm) ; on en trouve cependant jusqu'à 1,75 m.

Ces deux profils décrivent des sols alluviaux peu évolués.

- **Etude du fonctionnement hydrique du sol**

L'équation fondamentale du bilan hydrique est :

$$\Delta S = P - R - (ETR + D - C)$$

ΔS = Variation du stock hydrique

P = Pluviométrie

R = Ruissellement

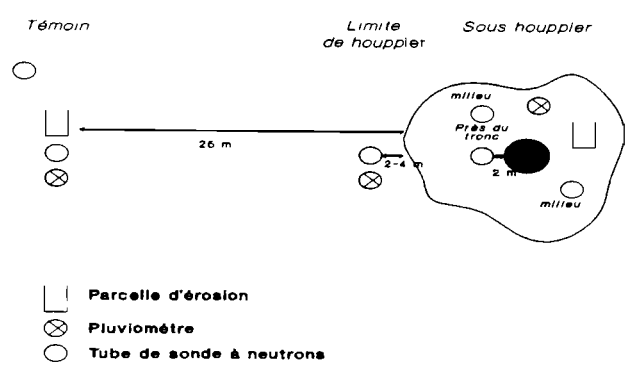
ETR + D - C : Evapotranspiration réelle, drainage et remontées capillaires

Les précipitations sont mesurées par trois pluviomètres à lecture directe placés en trois positions dans chaque site (fig. 5) : sous le houppier (mi-rayon), en limite de houppier, au niveau du témoin. Ces douze pluviomètres sont relevés systématiquement après chaque pluie.

L'érosion et le ruissellement sont suivis à l'aide de parcelles d'érosion/ruissellement placées à raison de deux dans chaque site (une « sous houppier » (mi-rayon) et l'autre dans le « témoin »), soit huit au total. Un rectangle de 1,25 m^2 est délimité sur le terrain à l'aide de plaques métalliques enfoncées dans le sol. Un bac de réception/décantation à l'aval de la parcelle collecte les particules arrachées au sol et l'eau ruisselée, celle-ci se déversant ensuite par un trop-plein dans un fût de fort volume (200 l). Le bac décanteur et le fût sont tous deux couverts par une tôle, afin de ne pas servir d'impluvium. Un pluviomètre est placé à coté de

FIGURE 5

Implantation des différents instruments dans un site d'étude.



la parcelle pour une évaluation précise des précipitations à l'endroit des mesures.

Le coefficient de ruissellement se calcule en rapportant la quantité d'eau ruisselée à la lame d'eau précipitée :

$$Kr\ \% = \frac{V/s}{P} \times 100$$

Kr % : coefficient de ruissellement (%)

V : volume ruisselé sur la surface S (l), récupéré dans le fût

s : surface de la parcelle (dm^2)

P : hauteur d'eau précipitée (mm), mesurée au pluviomètre

L'érosion est appréciée par la pesée des matériaux recueillis, que l'on rapporte à la surface de la parcelle.

Une sonde Campbell 503 nous permet de réaliser des mesures d'humidité du sol non destructives et répétées au même endroit. Nous suivons ainsi l'évolution de la disponibilité en eau au niveau de l'enracinement des cultures (les tubes d'accès permettent de descendre à 1,60 m) tout au long de la saison de végétation.

L'étalonnage de l'humidimètre a été effectué à l'occasion de la mise en place des tubes d'accès, à partir de 176 mesures. La gamme d'humidité prospectée couvre très exactement celle rencontrée par la suite (d'environ 1 % jusqu'à 22 %). Cet étalonnage, réalisé « en sec », est donc utilisable pour l'exploitation des données.

A proximité de chacun des sites 1 et 3, nous avons placé six tubes d'accès (fig. 5) : un tube est placé près du tronc, deux à mi-rayon, un en limite de houppier et deux au niveau du témoin. Les tubes *a priori* disposés par paire visent à pallier une éventuelle hétérogénéité spatiale du sol.

La prise de données a lieu une fois par semaine. Dans chaque tube, une mesure est réalisée tous les 10 cm, de 15 cm (horizon 10-20 *) à 155 cm (150-160), ce qui totalise quinze niveaux.

Les chiffres bruts d'humidité volumique donnent un profil hydrique pour chaque tube de sonde. On peut ensuite calculer le stock d'eau total (S), ou réserve totale, contenu dans le profil étudié en convertissant l'humidité volumique en lame d'eau équivalente pour chaque tranche de sol. La réserve disponible (Rd) du sol est obtenue en soustrayant de la réserve totale la quantité d'eau conventionnellement considérée comme non disponible pour les végétaux, c'est-à-dire à un potentiel capillaire supérieur à : 1,6 MPa (pF = 4,2).

Bien qu'il ne nous soit pas possible de mesurer l'influence d'une éventuelle nappe, elle est néanmoins suivie à l'aide de tubes piézométriques atteignant 4 m de profondeur.

Il nous est impossible de dissocier les pertes et apports d'eau « physiques » que sont le drainage, l'évaporation et les éventuelles remontées capillaires, de la transpiration des cultures, qui est la partie « biologiquement active » du système.

ÉVOLUTION DE LA VÉGÉTATION

- **Phénologie des arbres**

L'état de feuillaison, de floraison et de fructification des faidherbias, qui ont la réputation de perdre leurs feuilles pendant la saison des pluies, est suivi régulièrement.

Deux fois par semaine, on évalue « à vue » le pourcentage de feuilles et de fleurs présentes par rapport à la feuillaison et à la floraison maximale (il n'y a pas eu de fructification). Les cotations sont réparties en cinq classes : 0 %, 0-50 %, 50 %, 50-100 %, 100 %.

L'état de feuillaison est également suivi à l'aide d'une cellule photo-électrique : sous chaque arbre, un placeau carré de 3,2 m de côté est délimité au milieu de l'ombre portée par le houppier. Sur ce placeau, la lumière transmise (LT) est mesurée au-dessus de chaque cotonnier. La lumière est également mesurée en situation « témoin », en plein découvert (LD). Le rapport IF = (LD-LT)/LD (pourcentage de lumière interceptée) définit un indice de l'état de feuillaison.

- **Suivi de la culture**

La culture présente dans le terrain d'étude choisi est le coton *(Gossypium hirsutum)*, planté à 40 cm d'intervalle sur des lignes espacées de 80 cm.

La taille du placeau d'étude a été calculée de façon à contenir au moins 30 poquets, ce qui, avec la densité de plantation mentionnée ci-dessus (31 250 poquets/ha), représente une surface de 10 m^2 par placeau (3,2 m × 3,2 m).

Pour chaque site, deux placeaux ont été choisis sous le houppier et deux au niveau du témoin. Là où le coton avait une bonne venue, les placeaux ont été positionnés aux endroits où la levée était la plus régulière et l'environnement le plus homogène (sites 1, 2 et 4). Au niveau du site 3, ils ont été mis en place *a priori*, avant le semis du coton. *A posteriori*, nous avons

* L'horizon 0-10 n'est pas prospecté en raison des dangers d'irradiation de l'opérateur que présente l'appareil.

constaté que ce choix était suffisamment bien fait pour ne pas nécessiter une étude plus détaillée.

Les paramètres suivis sont :

• Le stade phénologique de développement : plants levés, plants avec une vraie feuille, plants ayant deux vraies feuilles, plants ayant plus de deux vraies feuilles, plants fleuris.

• Des paramètres morphologiques : hauteur de chaque plant et niveau de floraison *.

Ce suivi est réalisé deux fois par semaine par des observateurs logeant sur place.

L'importance des dates des opérations d'entretien pour la croissance des plants n'étant plus à démontrer, nous avons veillé à faire labourer, semer, démarier, sarcler, mettre l'engrais simultanément (le même jour) sur tous les placeaux d'étude d'un même site.

• **Evolution de l'enherbement**

La concurrence herbacée est, quant à elle, suivie sur les mêmes placeaux d'observation que la culture. Deux approches sont utilisées pour l'évaluer :

• D'une part, le développement de la végétation adventice est chiffré à l'aide du système de cotation utilisé à l'IRA/Coton. Ce système note de 0 (la culture a disparu) à 10 (il n'y a plus d'adventices) l'état d'enherbement de la culture.

• D'autre part, au moment des sarclages, le prélèvement de toutes les herbes d'un placeau nous renseigne sur la composition floristique de ce placeau, ainsi que sur la biomasse végétale extraite.

Les herbes sont triées sur place par espèce, les espèces nouvelles sont identifiées au bureau.

RÉSULTATS

Nous aborderons dans un premier temps les résultats du suivi hydrique, puis le dépouillement des données concernant la végétation.

FONCTIONNEMENT HYDRIQUE DU SYSTÈME ARBRE-CULTURE

• **Pluviométrie**

La saison n'a pas connu de période sèche notable, la plus longue durée sans pluie avant le 31 août ayant été de 5 jours (du 30 juin au 4 juillet), au début de la saison des pluies. Il y a eu 49 jours de pluie pour un total précipité de 579 mm. Les quatre plus fortes pluies ** ont été de 92, 53, 44 et 41 mm (230 mm en tout, soit 40 % du total) ; les autres pluies n'ont pas dépassé 30 mm.

Les trois situations (sous houppier, limite de houppier, témoin) sont bien différenciées pour chacun des sites étudiés par un test de Student (tableau V).

* Le niveau de floraison est le rang de la première branche qui a une fleur en position 1 (sur le premier nœud) en prenant pour base la première branche fructifère.
** Moyenne calculée sur les pluviomètres-témoins.

TABLEAU V
Pluviométrie : résultats des comparaisons de moyennes *

	Arbre			
	1	2	3	4
Sous houppier par rapport à la limite du houppier	– 11 % ± 5,3 % (1)	– 17 % ± 4,6 % (3)	– 11 % ± 4,3 % (1)	– 14 % ± 5,4 % (1)
Limite du houppier par rapport au témoin	– 2,6 % ± 4,1 % (non significatif)	– 7,8 % ± 2,2 % (2)	– 9 % ± 3,0 % (2)	– 8,3 % ± 2,3 % (2)
Sous houppier par rapport au témoin	– 19 % ± 4,3 % (3)	– 23 % ± 4,6 % (3)	– 21 % ± 4,2 % (3)	– 25 % ± 4,0 % (3)

* Ces calculs ont été réalisés sur les pourcentages (V1-V2)/V2, où V1 représente la valeur à comparer et V2 la valeur de référence, de manière à ne prendre en compte que la différence relative entre situations et non la différence absolue, cette dernière étant très variable suivant l'intensité de la pluie
(1) Différence significative au seuil d'erreur de 5 %.
(2) Différence significative au seuil d'erreur de 1 %.
(3) Différence significative au seuil d'erreur de 1 pour mille.

TABLEAU VI
Pluviométrie totale recueillie par les différents pluviomètres (en mm)

	Arbre				
	1	2	3	4	Moyenne
Sous houppier Différence par rapport au témoin	456 – 12 %	487 – 10 %	466 – 8 %	476 – 3 %	471 – 9 %
Limite du houppier Différence par rapport au témoin	491 – 5 %	510 – 6 %	487 – 4 %	458 * – 7 %	486 – 6 %
Témoin	517	543	509	492	515

* Valeur biaisée : le pluviomètre a été en réparation du 29 juillet au 1er août

Globalement, la pluviométrie suit un gradient croissant qui va de l'arbre vers l'extérieur (tableau VI).

- **Ruissellement**

34 pluies sur 49, qui totalisaient chacune moins de 11 mm, se sont totalement infiltrées. Les 15 pluies ayant donné lieu à du ruissellement atteignaient ou dépassaient 11 mm, à l'exception de celle du 8 août (8,4 mm).

La lame d'eau ruisselée globale représente environ 30 % des précipitations dans tous les cas.

Une analyse de variance effectuée sur la variable « lame ruisselée » ou « coefficient de ruissellement » ne montre pas de différence entre la situation « sous houppier » et le témoin.

- **Nappe phréatique**

La nappe phréatique a commencé à être détectable dans les tubes piézométriques à partir du 5 août (cf. fig. 6). Elle n'est pas montée au-delà de 2,80 m sous la surface du sol et ne perturbe donc pas l'évaluation du bilan hydrique. Les différences de niveau observées sont dues aux différences de relief entre les différents points de mesure.

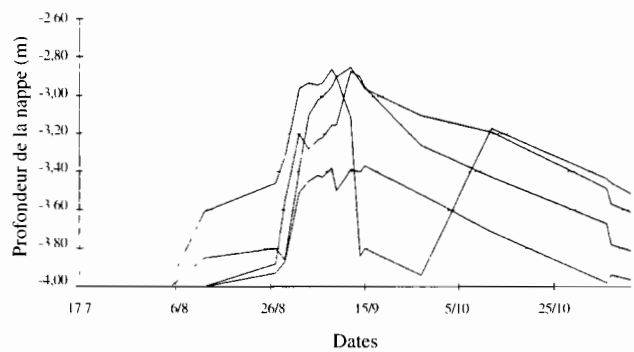
La recharge de la réserve hydrique se fait en majeure partie par une assistance de nappe, au moins dans les horizons au-delà de 3 m.

- **Profils hydriques**

Les profils hydriques obtenus ressemblent plus à des profils de vertisols que de terrains alluviaux (voir les travaux de EYOG MATIG, 1982 et MASSE, 1992). En effet, dans tous les cas, l'infiltration ne dépasse pas les 60 à 80 premiers centimètres, en donnant un profil d'humectation similaire à celui d'un sol argileux au lieu d'humecter uniformément l'ensemble du profil.

FIGURE 6

Evolution de la nappe phréatique du 17 juillet au 11 novembre 1992 sous 4 arbres.



La texture des horizons permet d'expliquer cette observation.

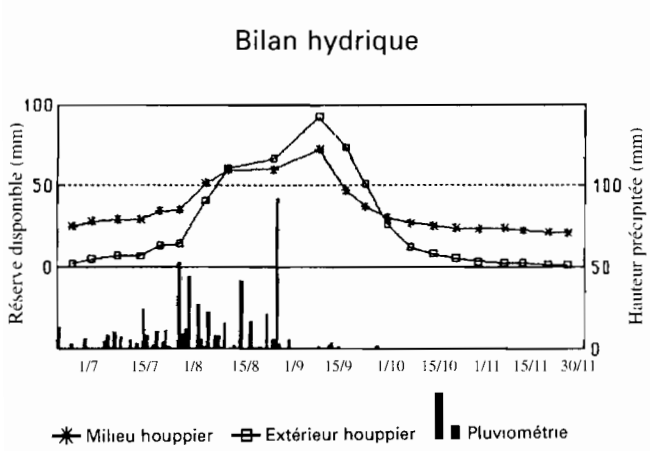
- **Evolution de la réserve hydrique - Profils racinaires**

Huit profils racinaires ont été réalisés (un pour chaque témoin, un sous chaque canopée), qui montrent d'une part que les cultures ne prospectent qu'un couche très superficielle du sol (de 25 à 80 cm maximum), d'autre part qu'il n'y a pour ainsi dire pas de racines de faidherbia dans ces mêmes couches : ceci est la confirmation (pour le cas étudié) que *Faidherbia albida* ne concurrence pas la culture sous-jacente pour l'eau.

En conséquence, nous avons calculé la réserve disponible sur une épaisseur de sol de 80 cm, limite pros-

FIGURE 7

Stock hydrique du sol sous houppier et hors houppier de *Faidherbia albida* pendant un cycle de culture du coton, saison 92, sur sol alluvial, moyenne de quatre grands arbres.



pectée par les racines (cf. fig. 7). Cette réserve est plus élevée pour les tubes sous houppier en début et en fin de cycle cultural. La différence n'est significative que dans un seul cas (entre les tubes « milieu de houppier » et « témoin » de l'arbre 3), mais cela est peut-être dû à l'imprécision entourant la détermination de l'humidité volumique pour pF = 4,2.

- **Consommation de l'eau**

Nous avons calculé la partie consommée Z de l'eau infiltrée à chaque date de mesure d'humidité du sol, d'après l'équation du bilan hydrique :

$$Z = ETR + D - C = P - R - \Delta S$$

où ETR est l'évapotranspiration réelle, D le drainage, C les remontées capillaires, P les précipitations, R le ruissellement et ΔS la variation de stock hydrique.

Dans cette équation, C est nul du fait de l'absence de nappe et de drainage vertical, sans quoi le profil hydrique serait humecté en profondeur. On ne peut toutefois rien dire du drainage latéral, qui reste une inconnue.

D'après nos mesures, plus des trois quarts de l'eau infiltrée ne se retrouvent pas dans le stock : elle serait donc évapotranspirée. Il reste cependant possible que le ruissellement réel soit plus important que celui mesuré. En effet, les petites parcelles de 1m^2, en éliminant l'effet cumulatif du ruissellement, minimisent très certainement les quantités perdues à la surface du sol.

- **Conclusion sur le fonctionnement hydrique du système arbre-culture**

Nous avons déterminé le seuil au-delà duquel commence le ruissellement. Bien que causant la perte d'un tiers des pluies, celui-ci n'est pas limitant pour la culture. D'après les chiffres de Parry, le cotonnier a besoin durant son cycle de 120 à 320 mm d'eau * (chiffres d'évapotranspiration) pour parvenir à la floraison. On peut toutefois légitimement se demander si une meilleure infiltration n'aurait pas permis de constituer une réserve plus importante en prévision de la fin du cycle de végétation : le cotonnier étant une plante à floraison indéterminée, il peut mettre à profit toute l'eau disponible pour édifier sa production et 300 mm supplémentaires ne sont pas négligeables.

Il semblerait, par ailleurs, qu'il y ait plus d'eau disponible en début et en fin de cycle cultural sous le houppier de l'arbre.

LA VÉGÉTATION : SON ÉVOLUTION, SES CONSÉQUENCES

- **Phénologie des arbres**

Les quatre individus de *Faidherbia albida* étudiés ont eu un comportement très différent à cet égard, depuis l'arbre 1, dont la feuillaison a démarré vers le 10 août, jusqu'à l'arbre 2 qui est resté pleinement feuillé du début à la fin de l'expérimentation (cf. fig. 8).

On retrouve les mêmes tendances sur les courbes tracées à partir de l'indice lumineux de feuillaison IF **, mais les valeurs absolues diffèrent : deux arbres oblitèrent en permanence au moins 50 % de la lumière à cause de leurs branches.

- **Suivi de la culture**

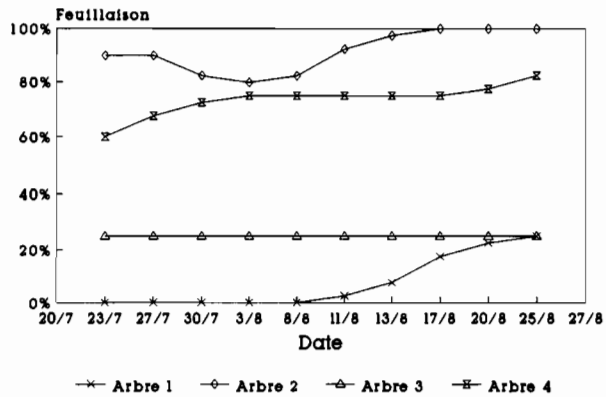
Le taux de survie des plants de coton semble évoluer de façon différente sous le houppier et sur le témoin dans le cas des sites 2 à 4 : même si la levée a été satisfaisante, il y a une diminution du taux de survie sous la canopée qui, par contre, reste constant sur le témoin.

* PARRY, 1982, p. 75 : de 1 à 2,5 mm/jour du 10^e au 40^e jour après le semis, puis 1,5 à 7 mm/jour pour les 35 jours suivants, ce qui donne une fourchette de 117,5 à 320 mm au total.

** IF = LT/LD où LT et LD représentent respectivement la lumière transmise au travers du feuillage et celle mesurée en plein découvert.

FIGURE 8

Evolution de la feuillaison de quatre arbres pendant une saison des pluies.



On ne note pas de tendance d'ensemble en ce qui concerne la hauteur moyenne et les stades juvéniles d'évolution (stades « cotylédons », « une feuille », « deux feuilles »). Au contraire, le nombre de plants « plus de deux feuilles mais non fleuris » diminue plus vite sur le témoin, au profit des plants fleuris. Cela se passe quel que soit l'état initial des placeaux sous houppier par rapport au témoin. Cependant, même pour les témoins « en retard », la hauteur moyenne des témoins est au moins égale à celle des « sous houppier ». La floraison semble également retardée sous le houppier de l'arbre. Le cycle biologique des cotonniers est donc plus bref en pleine lumière qu'à l'ombre d'un houppier.

- **Enherbement**

Les placeaux témoins restent « propres » plus longtemps dans trois cas (sites 2, 3, 4) sur quatre jusqu'au 11 août, puis cette tendance s'inverse dans le site 4. Le site 1 ne donne rien d'interprétable.

Lors de chaque sarclage, la biomasse totale récoltée sous les arbres est supérieure à celle que l'on trouve sur les placeaux témoins (tableau VII). Le calcul de l'indice de Shannon montre par ailleurs une plus grande diversité floristique dans les témoins (tableau VIII, p. 118). Le microclimat créé par l'arbre défavorise donc la richesse floristique mais favorise la production (biomasse). Malgré le développement plus important des adventices sous les arbres, les cotonniers sont également plus hauts.

- **Erosion**

Les départs de matériaux d'érosion ont pu atteindre 2,3 à 5,5 t/ha, lors du seul épisode pluvieux du 31 juillet, sans toutefois dépasser 1,8 t/ha le reste du temps. L'ensemble des matériaux arrachés atteint 2,4 à 14 t/ha pour la période d'étude. Ce dernier chiffre

TABLEAU VII
Biomasse des herbes de sarclage
Poids sec total en g

Date	Sites																Total
	1				2				3				4				
	H1	H2	S1	S2	H1	H2	S1	S2	H1	H2	S1	S2	H1	H2	S1	S2	
20/07/92									34	274	255	372					935
30/07/92	32	23	248	262													566
13/08/92															1 070	811	1 881
18/08/92											733						733
21/08/92			264														264
24/08/92									680	1 170	5 718	6 321	526				13 889
26/08/92					370	451	1 030	628									2 479
27/08/92	54	54															109
Total	86	78	513	262	370	451	1 030	628	714	1 444	6 706	6 693	526	0	1 070	811	15 682

H1 et H2 : placeaux hors houppiers.
S1 et S2 placeaux sous houppier.

TABLEAU VIII
Calcul de l'indice de diversité (Shannon) de chacun des relevés « sarclage »

Date	Sites															
	1				2				3				4			
	H1	H2	S1	S2	H1	H2	S1	S2	H1	H2	S1	S2	H1	H2	S1	S2
20/07/92									0,46	1,10	0,39	0,93				
30/07/92	0,00	2,06	0,85	0,83												
13/08/92															0,0	0,0
18/08/92											0,17					
21/08/92			1,69													
24/08/92									2,75	1,35	0,03	0,64	2,84			
26/08/92					1,74	1,74	1,87	1,37								
27/08/92	1,10	1,09														

H1 et H2 : placeaux hors houppier.
S1 ET S2 : placeaux sous houppier

Cotonniers en fleur dans un jeune parc à faidherbia.

ramené à la surface représente une épaisseur de sol de 0,02 à 0,12 mm. Une telle érosion n'est bien sûr pas perceptible à l'œil nu aux endroits de nos mesures sur la durée d'une campagne.

Un essai de corrélation entre la lame ruisselée et le départ de matériaux ne donne guère de résultats probants. En effet, l'importance de l'arrachage des particules de la surface du sol est liée à la fois à l'état de surface du sol, qui a varié au cours de la campagne, et à l'énergie cinétique moyenne que possèdent les gouttes en frappant le sol. Celle-ci dépend de l'intensité de la pluie, que nous n'avons pas mesurée.

Il n'y a pas de différence significative entre la position « sous houppier » et le témoin. Les parcs à *Faidherbia albida* auraient donc peu d'effet sur l'érosion de par la nature non couvrante de leur litière. En effet, les feuilles très fines sont décomposées rapidement et les gousses sont consommées par le bétail au fur et à mesure de leur chute. Il est cependant très probable que l'apport de matière organique par l'arbre et le bétail améliore la résistance du sol à l'érosion, cet effet bénéfique pouvant être masqué par le surpiétinement de saison sèche.

SYNTHÈSE

Quelles réponses avons-nous apporté aux questions initiales ?

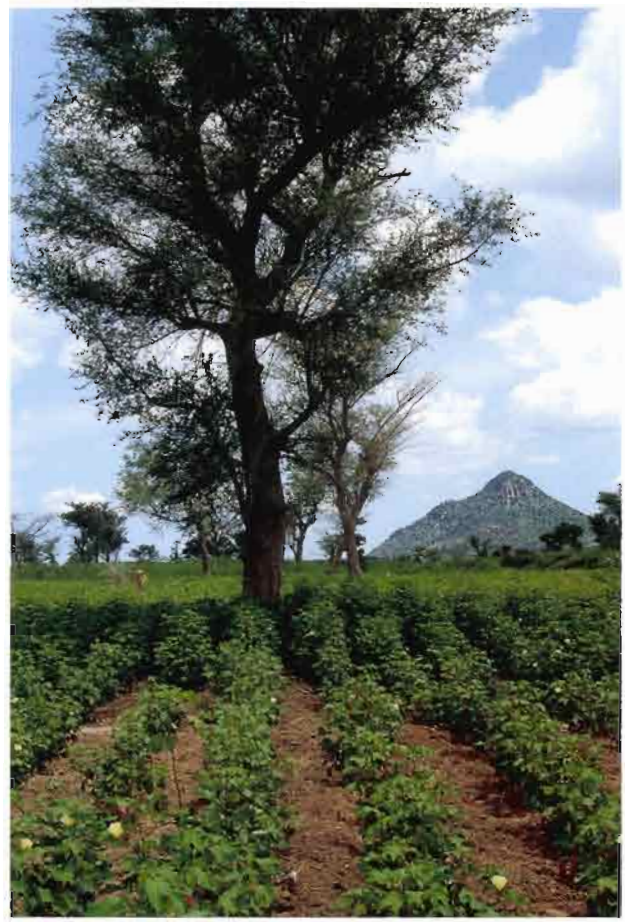
La disponibilité de l'eau pour les cultures semble peu affectée par la présence de l'arbre. S'il influe sur le stock hydrique à disposition de la plante, cette influence serait bénéfique, dans le sens d'une disponibilité en eau plus grande en début et en fin de cycle cultural. Ces premiers éléments, ainsi que les profils racinaires, confirment l'hypothèse selon laquelle *Faidherbia albida* ne concurrencerait pas la culture, mais puiserait plus loin dans la nappe.

L'évolution de la végétation est différente à l'ombre d'un arbre. La culture (le coton) semble avoir un cycle

végétatif préfloral allongé. La communauté végétale des adventices profite également du microclimat et se développe de façon moins diversifié, mais plus productive. L'enherbement plus élevé (en biomasse) sous l'arbre, qui nécessite plus de sarclages, est un point défavorable à la conservation de cette espèce dans les champs. Cependant, malgré le développement plus important des adventices sous les arbres, les cotonniers sont également plus hauts.

Le développement plus important de la végétation sous les arbres serait dû à la réduction de l'ETR sous couvert augmentant la disponibilité en eau pour les plantes associées (cotonniers et adventices), ce qui signifie également une plus grande disponibilité en éléments nutritifs. Cette constatation a déjà été faite par BERNHARD-REVERSAT, 1982 et GROUZIS *et al.*, 1991, sur le développement plus important de la strate herbacée sous les couverts arborés de la steppe sahélienne au Sénégal.

L'effet dépressif de l'arbre sur la production de coton-graine, quand il existe, serait dû à l'ombrage et non à une éventuelle concurrence de l'eau ou des éléments nutritifs.



Sous faidherbia, les cotonniers sont plus grands mais fleurissent plus tardivement.

CONCLUSION

Nous retiendrons de ces deux études les points essentiels suivants :

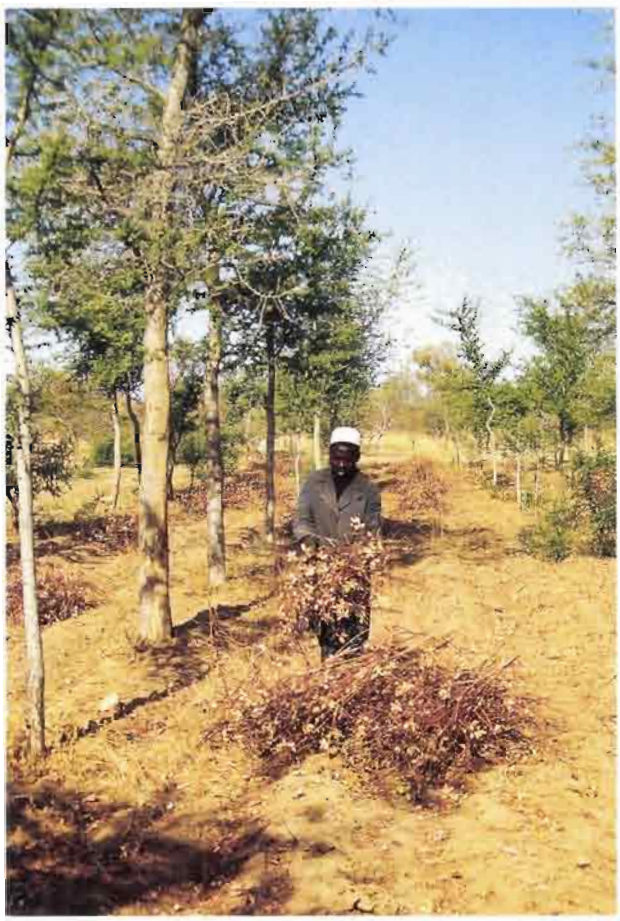
• L'influence de *Faidherbia albida* sur le rendement des cotonniers est fonction de la station.

• Le stock hydrique à disposition de la plante est modifié dans le sens d'une disponibilité en eau plus grande en début et en fin de cycle cultural. *Faidherbia albida* ne concurrencerait pas la culture, mais puiserait plus loin dans la nappe.

Certaines questions restent cependant posées, la première étant bien sûr de demander une confirmation ou une infirmation de nos résultats par les travaux d'autres chercheurs. La suite de ces travaux pourrait approfondir l'étude du régime hydrique des sols, puis comparer cette étude avec d'autres études similaires réalisées sur d'autres couples arbres-cultures.

Il faudrait, par ailleurs, déterminer s'il existe réellement un « effet peuplement » ou « effet parc », c'est-à-dire si un ensemble de *Faidherbia albida* a plus d'effets positifs que la somme des effets d'arbres individuels étudiés à l'état isolé.

Il reste cependant acquis qu'il existe, en général, un effet positif de l'arbre sur la production cotonnière dans les parcs jeunes et sur station peu fertile, et un effet plutôt négatif (non significatif) dans les parcs anciens aux gros arbres et sur station fertile. L'amélioration du rendement sous les jeunes arbres serait dû à un microclimat plus favorable que dans les stations-témoins sans arbre, plus éclairées mais plus sèches et moins fertiles. Avec les vieux arbres, la



Coupe des tiges de coton en milieu de saison sèche dans un parc planté de dix ans. Bien qu'à cet âge faidherbia n'ait pas d'effet significatif sur la production de coton, les mesures faites sur des arbres plus vieux permettent d'encourager ce type de plantation.

lumière devient le facteur limitant de la production de coton graine.

On peut en déduire des pratiques de gestion des parcs basées sur l'émondage raisonné des houppiers et sur le remplacement des arbres anciens par de jeunes sauvageons. ■

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BEAUVILAIN (A.), 1989. — Nord-Cameroun : crises et peuplements. Thèse de doctorat ès Lettres, tome 1, Rouen, France, 307 p.

BERNHARD-REVERSAT (F.), 1982. — Biogeochemical cycle of nitrogen in a semi-arid savanna. GIKOS, 32 : p. 321-332.

CARSKY (R.J.), 1992. — Chemical characteristics of soil surface of 1991 TLU trials. Technical note n 3, TLU Maroua. Maroua, Cameroun, Institut de la Recherche Agronomique, 11 p.

CHARREAU (C.), VIDAL (P.), 1965. — Influence de l'*Acacia albida* Del. sur le sol, nutrition minérale et rendements des mils *pennisetum* au Sénégal. L'agronomie Tropicale, série Agronomie générale, 6-7, p. 600-625.

C.T.F.T., 1988. — *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. Monographie. Nogent-sur-Marne, France, C.T.F.T., 72 p.

DAGET (J.), 1976. — Les modèles mathématiques en écologie. Collection d'écologie 8. Paris, France, Masson, 172 p.

DUBREUIL (P.), 1962. — Hydrologie de surface dans le Diamaré (Cameroun). Paris, France, Documentation O.R.S.T.O.M.

EYOG MATIG (O.), 1982. — Contribution à la sylviculture de l'Eucalyptus au nord-Cameroun. Thèse de troisième cycle, Toulouse, France, Université Paul Sabatier, 110 p.

GROUZIS (M.), NKINSKI (J.), FOURNIER (C.), 1991. — Interactions entre arbre et herbe au Sahel : effet sur la composition floristiques et sur l'efficience de l'eau. *In :* Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides, Paris, France, 1991. Groupe d'étude de l'arbre, p. 131-144.

LIBERT (Ch.), 1990. — Influence des parcs arborés sur la production des cultures associées au nord-Cameroun. Mémoire de troisième année d'Ingénieur des Techniques Forestières, Nogent-sur-Vernisson, France, 62 p. + annexes.

LOUPPE (D.), 1989. — Influence de *Faidherbia albida* sur les rendements agricoles. Nouvelle contribution. Communication présentée au Colloque National Forêt, Environnement et Développement à Dakar, 22-26 mai 1989. D.R.P.F. Sénégal, 10 p.

LOUPPE (D.), 1990. — *Faidherbia albida* : L'arbre miracle du Sahel. L'Agroforesterie aujourd'hui, avril-juin 1989, vol. 1 n° 2. Nairobi, Kenya, ICRAF.

MASSE (D.), 1992. — Amélioration du régime hydrique des sols dégradés en vue de leur réhabilitation. Cas des vertisols du nord-Cameroun. Thèse de Docteur-Ingénieur. Toulouse, France, Université Paul Sabatier, 137 p.

OULDRA MALAI (J.-C.), 1990. — Influence de *Faidherbia albida* sur la production cotonnière à Baka (Tokombéré). Mémoire d'Ingénieur Agronome, Centre Universitaire de Dschang, Cameroun, 62 p. + annexes.

PARRY (G.), 1982. — Le cotonnier et ses produits. Coll. Techniques agricoles et productions tropicales. Paris, France, Maisonneuve & Larose, 502 p.

RAISON (J.P.), 1988. — Les « parcs » en Afrique : Etat des connaissances et perspectives de recherche. Document de travail. Paris, France, Centre d'Etudes Africaines EHESS, 117 p.

SEIGNOBOS (Ch.), 1982. — Nord-Cameroun : montagnes et hautes terres. Coll. Architectures traditionnelles, Série monographies. Roquevaire, France, Editions Parenthèses, 188 p.

C. LIBERT
Office National des Forêts
BASTIA (France)

O. EYOG MATIG
Institut de la Recherche Agronomique
BP 223
EDEA (Cameroun)

Crédit photos : R. PELTIER

RÉSUMÉ

Les auteurs ont réalisé une étude sur l'association *Faidherbia albida*/coton dans le parc arboré du village de Tokombéré, en zone soudano-sahélienne du Nord-Cameroun. Le substrat géologique est constitué d'alluvions récentes sableuses. La pluviométrie moyenne est de 800 mm

Une parcelle de 38 ha a été suivie. La densité des *Faidherbia albida* y est de 5,5 arbres/ha avec les caractéristiques suivantes : surface terrière : 1,8 m²/ha, couvert des houppiers : 8,7 % de l'espace, hauteur moyenne : 12 m, diamètre moyen : 0,56 m.

Une première étude a porté sur l'effet de 15 arbres isolés sur la croissance du coton en comparant la partie sous houppier de *Faidherbia albida* et la partie hors houppier, jusqu'à 20 m des limites de celui-ci. On a constaté que sous houppier, la densité des plants de cotonnier est plus faible de 20 % mais que ceux-ci sont plus grands et de taille plus régulière Le poids moyen capsulaire y est supérieur. Enfin, le rendement en coton-graine y est plus élevé sur les sols les moins fertiles et moins élevé sur les sols plus fertiles.

Une deuxième étude a porté sur la comparaison entre un parc dense de jeunes *Faidherbia albida* (37 arbres/ha, 34 cm de diamètre moyen, 26 % de couvert de houppier, 70 m² de surface moyenne des houppiers) et une zone voisine ou les arbres sont très rares. Bien que dans la partie hors parc, les rendements soient élevés (1,6 t/ha) ceux-ci augmentent de 32 % sous parc. L'effet sur le rendement cotonnier d'un parc dense semble donc plus favorable que celui d'un arbre isolé.

Les caractéristiques des 40 premiers cm de sol ont été comparées sous et hors houppier, pour 3 jeunes et 3 vieux arbres. Bien que le faible nombre d'arbres ne permettent pas de conclusions formelles, c'est sous les vieux arbres que les paramètres du sol semblent avoir été davantage modifiés par *Faidherbia albida :* le pH, la teneur en C organique et en N total et le C/N y sont plus élevés en surface.

Une troisième étude a porté sur la disponibilité en eau pour les cultures de coton, en comparant les zones sous houppier de 4 arbres (2 grands à port en V et 2 courts à port en boule) à des témoins situés à 25 m de ceux-ci. Les précipitations ont été mesurées à l'aide de pluviomètres, l'érosion et le ruissellement à l'aide de micro-parcelles de 1,25 m². L'humidité du sol jusqu'à 1,6 m de profondeur a été suivie à l'aide d'une sonde à neutron Campbell.

L'état de feuillaison, de floraison et de fructification des arbres a été estimé visuellement ; le premier paramètre étant vérifié à l'aide d'une cellule photo-électrique. Pour le cotonnier, sur des placeaux de 10 m², on a suivi les paramètres suivants, deux fois par semaine pendant toute la saison de végétation : stade phénologique de développement, hauteur des plants, niveau de floraison Sur ces mêmes placeaux, l'évolution de l'enherbement a été mesurée par cotation visuelle et par récolte au moment des sarclages. Enfin des profils racinaires ont été réalisés sur 80 cm de profondeur.

Les résultats suivants ont été trouvés :

- Les racines de cotonnier atteignent au maximum 80 cm. Dans cette zone, on ne trouve pas de racines de *Faidherbia albida ;* il convient donc de calculer la réserve en eau disponible dans cette épaisseur de sol ; elle est plus élevée sous houppier en début et en fin de cycle cultural.

- La phénologie des arbres est très différente suivant les individus, le plus précoce étant totalement feuillé à la mi-juillet, le plus tardif ne commençant la feuillaison qu'à la mi-août. Deux arbres sur quatre interceptent plus de 50 % de la lumière pendant toute la durée de végétation du cotonnier.

- Le suivi du cotonnier montre que sous la canopée, la floraison est plus tardive et les plants sont plus grands. Parallèlement, les mauvaises herbes se développent mieux sous houppier mais sont moins diversifiées, le sarclage y est plus contraignant.

- Les autres paramètres mesurés n'ont pas donné de résultats significatifs.

En conclusion, les auteurs rappellent que l'influence de *Faidherbia albida* sur le cotonnier est fonction de la station, l'effet sur la production d'un peuplement semble supérieur à celui des arbres isolés, la disponibilité en eau au profit du cotonnier est plus grande en début et en fin de cycle cultural A priori, il n'existe pas de concurrence pour l'eau et les éléments minéraux entre l'arbre et la culture, l'effet dépressif, quand il existe, serait dû à l'ombrage. Ils estiment cependant que ces travaux encore partiels doivent être confirmés.

Mots-clés : Plante d'ombrage. Plante de protection. Culture en mélange. Productivité. Teneur en éléments minéraux. Floraison. Phénologie. Relation plante-eau. Relation plante-sol. Potentiel hydrique *Faidherbia albida. Gossypium.*

ABSTRACT

The authors carried out a study of the *Faidherbia albida* cotton association in the parklands of the village of Tokombéré, in the Sudano-Sahelian zone of northern Cameroon. The geological substratum is made up of recent sandy alluvia Average rainfall is 800 mm.

A 38 hectare plot was studied. In it, *Faidherbia albida* density is 5.5 trees/ha with the following characteristics : basal area at B.H. : 1.8 sq.m/ha ; crown cover 8 7 % of the area ; average height : 12 m ; average diameter : 0 56 m.

An initial study focused on the effect of 15 isolated trees on the growth of cotton, comparing the part beneath *Faidherbia albida* crowns and the part beyond the crowns, up to 20 m from the outer edge of the crown. It was noted that, beneath the crown, the density of cotton plants was 20 % lower, but that the plants were larger and more evenly sized. The average capsular weight for them was higher Last of all, the cotton yield was higher beneath faidherbia in less fertile soils, and lower in more fertile soils

A second study concentrated on a comparison between a dense parkland area with young *Faidherbia albida* trees (37 trees/ha, average diameter of 34 cm, 26 % crown cover, average crown area of 70 sq.m) and a nearby zone where trees were very few and far between. Although yields were high (1 6t/ha) in the part outside the parkland, they increased by 32 % in the parkland. The effect of dense parkland on cotton plant yield would thus seem to be more favourable than the effect of an isolated tree.

The characteristics of the top 40 cm of soil were compared beneath and beyond crowns, taking three young and three old trees. Although the small number of trees precludes any formal conclusions, it was under the old trees that the soil parameters seemed to have been more markedly changed by *Faidherbia albida.* Here, the pH, level of organic C and total N and C/N were higher on the surface.

A third study dealt with the availability of water for cotton crops, comparing the zones beneath crowns of four trees (two large specimens with a V-shaped configuration, and two short round-shaped trees) with control specimens situated 25 m from these. Precipitation was measured with pluviometers, erosion and run-off with 1.25 sq.m micro-plots Soil humidity to a depth of 1.6 m was checked with the help of a Campbell neutron probe.

The state of the trees' leaf formation, flowering and fruiting was estimated by eye, and the first parameter was checked with the help of a photo-electric cell. For the cotton plant, in 10 sq.m seed spots, the following parameters were followed up, twice a week throughout the vegetative season : phenological development stage, height of seedlings, level of flowering. In these same seed spots, the development of grass growth was measured by visual estimation and by harvest at the moment of weeding. Last of all, root profiles were drawn up to a depth of 80 cm.

The following findings emerged :

- cotton plant roots reach a maximum depth of 80 cm. In this zone, no *Faidherbia albida* roots are found So it is advisable to calculate the available water reserve at this soil depth ; it is greater beneath crowns at the start and end of the crop cycle ;

- the phenology of the trees differs greatly from one specimen to the next, the earliest being totally in leaf by mid-July, and the latest not starting to form leaves until mid-August. Two out of four trees intercept more than 50 % of the light throughout the cotton plant's vegetative period ;

- cotton plant follow-up shows that beneath the canopy, flowering occurs later and the plants are larger. At the same time, weeds develop better beneath crowns, but they are less diversified, and weeding needs more work ;

- the other parameters measured did not give any significant results.

In conclusion, the authors note that the influence of *Faidherbia albida* on the cotton plant has to do with the station. The effect on production of a stand seems to be greater than that of isolated trees ; water availability, benefiting the cotton plant, is greater at the start and end of the crop cycle A priori, there is no competition for water and mineral elements between tree and crop. If or when there is a depressive effect, this is due to shadiness. The authors nevertheless reckon that these still incomplete studies require confirmation.

Mots-clés : Shade tree. Protective plants Mixed cropping. Productivity. Mineral content. Flowering Phenology. Plant water relation. Plant soil relation. Water potential. *Faidherbia albida. Gossypium.*

INFLUENCE DE *FAIDHERBIA ALBIDA* SUR L'ARACHIDE ET LE MIL AU SÉNÉGAL

Méthodologie de mesure et estimations des effets d'arbres émondés avec ou sans parcage d'animaux

par Dominique LOUPPE, agroforestier, CIRAD-Forêt
Babou N'DOUR, agroforestier, ISRA/D.R.P.F.
Samba Arona N'Diaye SAMBA, agroforestier, ISRA/D.R.P.F.

Récolte d'arachide dans un jeune parc à *Faidherbia albida*.

Faidherbia albida (Del.) A. Chev. (synonyme *Acacia albida* Del.) est une espèce ligneuse de première importance dans les terres agricoles du Sénégal et plus particulièrement dans le Bassin arachidier. Son influence bénéfique sur les rendements céréaliers a été constatée de longue date si bien que, dès 1952 (GIFFARD, 1974), on tentait d'introduire ou de multiplier cet arbre dans le département de Louga, sur les sols épuisés par la culture de l'arachide. Son rôle fourrager est également bien connu. Dans les années 60, les pasteurs, émondaient les arbres pour obtenir du fourrage aérien « mais avec suffisamment de discrétion pour éviter de les mutiler » (PELISSIER, 1966).

Depuis, la situation a évolué ! LERICOLLAIS (1988) signale une régression inquiétante, entre 1965 et 1985 (– 34%) du nombre de *Faidherbia albida* du village de Sob. Et l'émondage si discret est devenu tel qu'il ne laisse parfois plus que le fût et quelques branches maîtresses.

De nombreuses études sur l'influence de *Faidherbia albida* avaient été entreprises dans les années soixante (CHARREAU, VIDAL, 1965 ; DANCETTE, 1968 ; DANCETTE, POULAIN, 1968 ; JUNG, 1967...) pour chiffrer l'influence de l'arbre sur les rendements agricoles. Cette influence, avec l'augmentation importante de l'émondage, est-elle toujours la même aujourd'hui ? Sinon, comment a-t-elle évolué ?

Nous ne nous proposons pas ici d'étudier tous les paramètres pouvant être influencés par l'émondage (microclimatologie, retombées de litière, productions diverses...). Nous avons simplement cherché à mettre au point **une méthodologie de collecte de données** susceptible de montrer **un effet éventuel de l'émondage sur les rendements agricoles.** Les résultats de cette première phase * sont présentés ici car ils viennent compléter et éclairer certains résultats des études antérieures.

* Les auteurs reprennent ici des travaux qu'ils avaient menés au sein de la D R PF/ISRA du Sénégal en 1988 mais qui, jusqu'alors, n'avaient pas été publiés dans des revues La méthodologie et les résultats restent en effet d'actualité, même si les références sont un peu anciennes. Bien entendu, le nom et le sigle de certains instituts ont changé depuis cette époque.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

ZONE D'ÉTUDE

- **Choix d'une région sur laquelle existaient de solides données de base**

L'étude a été menée pendant la saison des pluies, en 1988, dans le terroir du village de Sob, village sérère du Sine, région de Fatick au Sénégal. Ce village faisait l'objet d'une étude conduite, depuis de nombreuses années, par une équipe multidisciplinaire de l'ORSTOM et par l'Equipe « Système » de l'Institut Sénégalais des Recherches Agricoles (ISRA) de Kaolack, dont la présence nous a facilité l'approche de terrain.

PLACETTES DE MESURE

- **Sélection d'une vingtaine d'arbres dans des cultures d'arachide et de mil**

La population échantillon était composée de 21 arbres (*Faidherbia albida*) dont 10 dans des cultures d'arachide (*Arachis hypogea*) et 11 dans des champs de mil (*Pennisetum typhoïdes*). La sélection des sujets a été effectuée en début de saison des pluies peu après le semis des cultures.

Le choix des arbres échantillons a été subordonné à quatre critères :

• la parcelle de culture dans laquelle se trouve l'arbre ne doit se situer ni dans un bas-fond, ni sur une élévation afin d'éviter de trop grandes différences de fertilité. Ces deux situations topographiques extrêmes donnent en effet des rendements agricoles très différents des autres localisations (GARIN, 1988) ;

• l'arbre doit se situer à 20 m minimum de son plus proche voisin ;

• il doit être à 10 m minimum de la limite la plus proche de la parcelle de culture ;

• il doit avoir un houppier bien équilibré.

Bien entendu tous les arbres sont très fortement émondés comme la majorité de ceux de la région de Sob : LERICOLLAIS (1988) signale qu'en 1965 la projection des houppiers de *Faidherbia albida* couvraient 20 % environ des parcelles de cultures alors qu'aujourd'hui, suite à la réduction des effectifs (– 34 %) et à un émondage excessif, elle n'atteint même pas 5 %.

- **Les houppiers des arbres étudiés sont réduits des deux tiers**

Nous avons établi, à partir de 42 arbres non émondés, la régression donnant la surface de la projection du houppier (y, en m^2) en fonction de la surface de la section du tronc à 1,30 m (g, en m^2).

$$y = 65 + 449\ g$$

La comparaison du couvert des *Faidherbia albida*-échantillons à cette régression a montré que la population étudiée présente des houppiers dont la surface n'est plus, en moyenne, que de 38 % (13 à 66 %) de celle d'arbres intacts.

Le couvert moyen des arbres étudiés est de 75 m^2. Le rayon du houppier est de 4,89 m.

L'un des *Faidherbia albida,* moyennement émondé et à cime bien équilibrée, sous lequel l'étude a été réalisée.

Nous posons en hypothèse que de tels taux d'émondage (62 % en moyenne, avec des valeurs extrêmes de 32 et 87 %) ont une influence importante sur les facteurs de la production agricole sous *Faidherbia albida,* influences que nous ne pourrons pas chiffrer ici faute de témoins non émondés.

MÉTHODOLOGIE

- **Mettre au point une méthode d'étude des rendements agricoles en fonction de la distance au tronc...**

Afin de mesurer avec précision les différences de rendement agricole que peut induire un émondage plus ou moins important, il nous fallait mettre au point une méthodologie fine de récolte des données.

Celle-ci devait répondre aux normes suivantes :

• intégrer autant que possible les influences « parasites » tel l'effet du vent sur la dispersion des retombées foliaires ou sur la répartition des précipitations sous l'arbre, afin de ne pas en tenir compte dans l'analyse statistique ;

• mettre en évidence une variation du rendement agricole sur de faibles distances : supposons un arbre dont la cime couvre 200 m^2 ; le rayon moyen du houppier est de 798 cm ; un taux d'émondage de 30 % ramène ce rayon à 668 cm et à un taux de 60 % à 505 cm. Le protocole de récolte des données doit donc permettre de mettre en évidence des différences de rendement pour des variations de rayon de houppier de l'ordre de 1 à 1,50 m ;

• avoir des placeaux d'une taille minimale suffisante pour être représentatifs. Cette taille minimale a été fixée à 25 m^2 en raison de la densité des cultures de mil (un pied par m^2 en moyenne, soit environ 25 pieds par placeau).

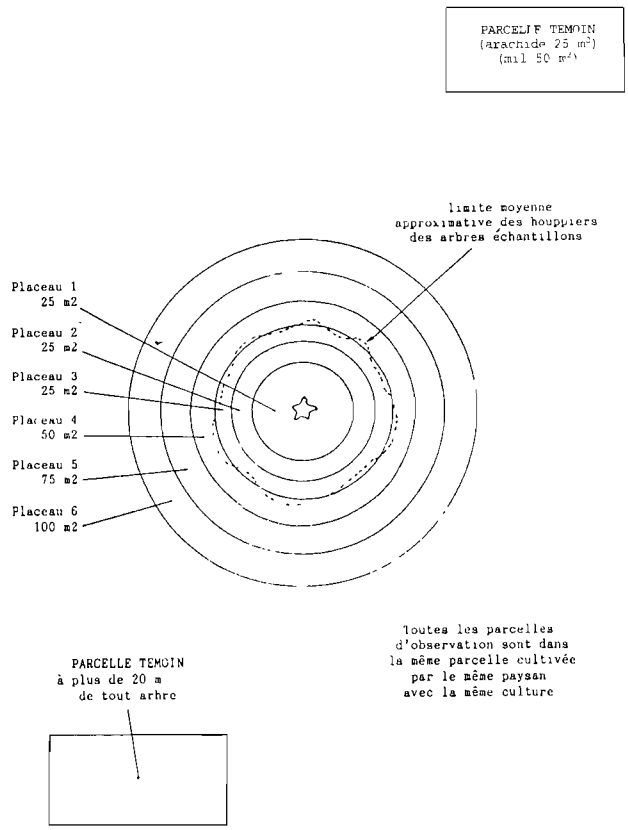
- **... Et retenir un dispositif de placettes annulaires concentriques**

Pour satisfaire à ces trois contraintes, nous avons décidé d'adopter un dispositif avec placettes annulaires concentriques, centrées sur le tronc de l'arbre. Six placettes annulaires sont installées au moment de la récolte conformément à la figure 1.

Les placettes annulaires, en s'écartant du pied de l'arbre, ont une surface de 25, 25, 25, 50, 75 et 100 m^2 correspondant à des anneaux dont la largeur respective est de 282, 117, 90, 142, 167 et 179 cm. L'ensemble du dispositif de mesure couvre ainsi 300 m^2.

FIGURE 1

Dispositif d'étude de l'influence des arbres sur les rendements agricoles



Pour délimiter les placeaux annulaires, une corde dont la longueur utile est calculée en fonction du rayon extérieur de la parcelle et du diamètre de l'arbre est passée autour du tronc. Les deux extrémités sont jointes ; le point de jonction donne la distance par rapport au centre du tronc. En tournant autour de l'arbre on détermine approximativement un cercle ; on débute par le cercle central que l'on récolte entièrement, puis on passe successivement aux parcelles de plus en plus éloignées en faisant varier la longueur utile de la corde.

Deux parcelles-témoins par arbre ont été matérialisées sur le terrain en début de la saison de culture (afin d'éviter tout choix subjectif au moment de la récolte) à une distance minimale de 20 m de tout arbre. Ces témoins devaient obligatoirement se situer dans la même parcelle de culture que l'arbre et supporter la même variété cultivée par le même paysan avec le

même itinéraire technique. Les placeaux-témoins sont constitués de cinq lignes de 10 m de long, ce qui représente une surface de l'ordre de 25 m^2 pour l'arachide et 50 m^2 pour le mil.

SOLS ET PLUVIOMÉTRIE

- **Des sols « Dior » très sableux**

Les parcelles retenues sont sur faibles pentes, donc peu susceptibles à l'érosion. Les sols y sont de type « Dior » à texture très sableuse présentant un horizon sablo-argileux de 1 m d'épaisseur environ entre 1,5 et 3 m de profondeur (CHARREAU, 1970).

- **Une année caractérisée par une pluviométrie très irrégulière**

Les conditions pluviométriques ont été très défavorables au début de l'hivernage au niveau du poste météorologique de Sob (on a observé néanmoins de très fortes variations sur de très faibles distances si bien que ce qui suit doit être considéré avec prudence).

La première pluie du 24 juin (35 mm) a été suivie par un arrêt des précipitations de 35 jours. Ensuite sont tombés 15 mm le 29 juillet, 9 et 11 mm les 3 et 9 août. La saison des pluies n'a réellement débuté que le 16 août avec une pluviométrie de 218 mm au cours de la seconde quinzaine du mois et 268,5 mm en septembre (soit 556 mm pour la période considérée).

Les cultures ont donc subi un stress très important entre la levée et la pluie du 29 juillet.

SYSTÈME DE CULTURE

- **Le mil, une culture traditionnelle sans intrants**

A l'exception de l'arbre n° 4 qui est dans une parcelle irrégulièrement parquée (parcage : concentration temporaire du troupeau sur une parcelle pour profiter de la fumure organique des déjections), tous les autres sont dans des parcelles qui n'ont pas été fumées depuis plus de dix ans.

L'ensemble des semis a été réalisé au sec le 30 mai (première pluie le 24 juin).

Aucun champ n'a reçu de traitement phytosanitaire. En moyenne, le démariage intervient 15 jours après la levée, laissant cinq plants par poquet. Le premier sarclage mécanique se fait à peu près aux mêmes dates (GARIN-THIAM, 1989).

La récolte a été effectuée entre les 7 et 11 octobre. Le battage a été effectué de manière traditionnelle par les femmes du village.

- **Certains champs d'arachide sont fumés par « parcage » et sarclés mécaniquement, alors que d'autres sont sarclés à la main et/ou n'ont pas d'intrants**

Quatre arbres sont situés sur des parcelles qui ne sont jamais fumées ni parquées. Le parcage est effectué en moyenne un an sur quatre dans les autres parcelles. Cependant, aucun parcage n'est intervenu les deux dernières années.

Pour l'analyse des données, une différence sera faite entre les parcelles régulièrement parquées et celles qui ne le sont jamais. Aucune préparation du sol n'a été effectuée.

Pour sept arbres, le semis s'est effectué le 25 juin, après une pluie de 32 mm survenue la veille. Pour deux arbres, le semis a été fait le 26 juin et pour le dernier arbre, le 27 juin.

La variété utilisée, dans neuf cas sur dix, était la 55.437 à cycle court dont les semences, conservées depuis la campagne précédente, n'ont pas été traitées avec un fongicide contre les fontes de semis. La variété mise en place sous le dernier arbre (qui a donc été éliminé des analyses statistiques) était la 73-30 dont les graines traitées ont été achetées à la coopérative.

Le premier sarclage mécanique commencé dix jours après le semis (5 juillet) s'est étalé jusqu'au 15 juillet. Ce sont les parcelles non parquées (sans fertilisation organique) qui ont été sarclées les dernières.

Le second sarclage mécanique s'est étalé, pour les parcelles parquées, du 26 juillet au 14 août et a été suivi entre le 7 et le 16 août d'un sarclage manuel. Les parcelles non parquées, quant à elles, ont été sarclées manuellement les 20/7 et 6/8 et mécaniquement les 13 et 21/8. Les différences constatées tant au niveau du parcage que du sarclage sont le reflet du statut social des agriculteurs : les chefs de carré s'approprient les meilleurs sols et utilisent les meilleures techniques agricoles au détriment des ménages dépendants (GARIN, 1988).

La récolte des placeaux expérimentaux s'est effectuée du 21 au 27 octobre. La pesée après séchage a eu lieu le 18 novembre.

RÉSULTATS

MIL

- **Huit parcelles de rendement moyen et trois de faible rendement**

Les témoins se répartissent en deux groupes selon le rendement : un groupe de huit parcelles avec un rendement moyen en grains de 645 kg/ha (écart-type de 153 kg/ha) et un groupe de trois parcelles avec un rendement de 213 kg/ha (écart-type de 54 kg/ha). Ces deux groupes seront étudiés séparément.

- **Sur les parcelles de bonne productivité en mil, l'effet bénéfique de *Faidherbia albida* est une nouvelle fois démontré**

Le tableau I présente les principaux résultats obtenus.

Pour les rendements épis et grains (cf. fig. 2), nous observons un accroissement très net de la production sous la cime de l'arbre : la récolte est en moyenne

FIGURE 2

Influence de *Faidherbia albida* sur les rendements grains et épis du mil à Sob : parcelles de bonne productivité et moyenne de huit observations.

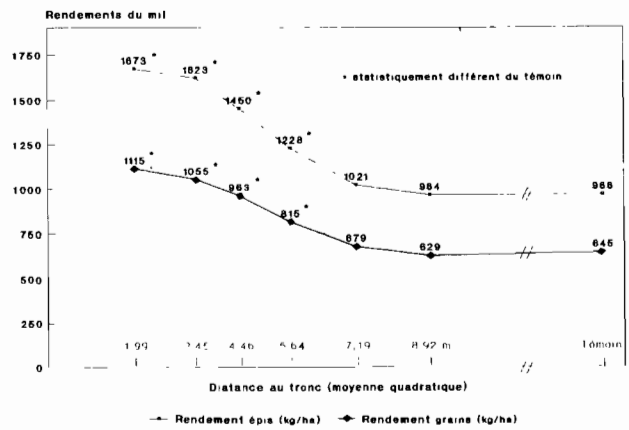


TABLEAU I

Evolution des paramètres agronomiques d'une culture de mil en fonction de la distance au tronc de *Faidherbia albida*, cas des 8 meilleures parcelles

DIST (cm)	DENS (× 100)	EP/m²	EP/PO	PEPI (g)	RDBAT (%)	GR/EP (g)	RDEPI (kg/ha)	RDGRA (kg/ha)	1 000 G (g)
199	117*	3,85*	3,48	44,0*	67,6	29,9*	1 673*	1 115*	8,81
345	142*	4,08*	2,99	41,3*	64,9	26,9*	1 623*	1 055*	8,81
446	132	3,59	2,87	41,9*	66,7	28,0*	1 450*	963*	8,56
564	117	3,25	2,95	41,0*	67,0	27,3*	1 228*	815*	8,54
719	100	2,55*	2,63*	37,5	66,4	24,7	1 021	679	8,71
892	97	3,13	3,51	32,6	65,3	21,4	964	629	8,65
Témoin	87	3,09	3,31	31,2	66,9	20,8	966	645	8,55

Facteurs étudiés :
DIST : distance moyenne quadratique par rapport au tronc
DENS densité des pieds de mil - nombre de poquets à l'hectare
EP/m² : nombre d'épis par mètre carré
EP/PO : nombre d'épis par poquet
PEPI . poids moyen d'un épi
RDBAT : rendement au battage
GR/EP poids de grains par épi
RDEPI rendement épis
RDGRA : rendement grains
1 000 G : poids de 1 000 graines
* Les astérisques indiquent les valeurs significativement différentes du témoin au seuil 5 %.

maximale au niveau du tronc ; elle décroît relativement peu jusqu'à 4 m, puis beaucoup plus rapidement pour se stabiliser au niveau du témoin vers 6,3 m. L'effet bénéfique cesse d'ailleurs d'être statistiquement significatif à cette distance, bien supérieure au rayon moyen des houppiers actuels (4,90 m).

L'étude des différentes composantes du rendement nous montre que *Faidherbia albida* a une influence significative sur le poids des épis ainsi que sur le poids de grains par épi. Les valeurs constatées sont significativement différentes du témoin dans un rayon de 6,3 m. Par contre, l'arbre n'a aucune influence significative sur le poids moyen des grains, ni sur le rendement au battage.

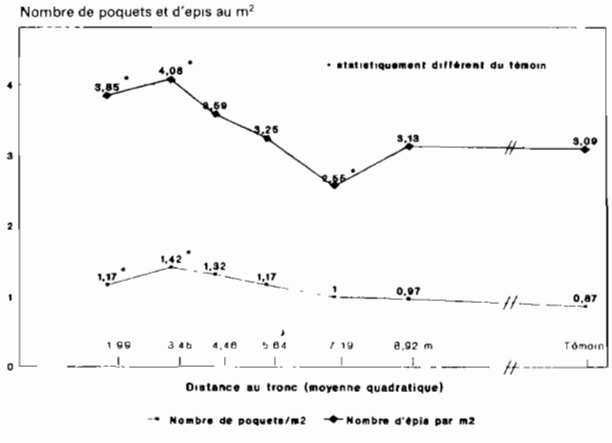
Des différences positives significatives avec le témoin apparaissent également au niveau de la densité (nombre de poquets à l'hectare) et du nombre d'épis par m^2 dans un rayon de 4 m autour du tronc (cf. fig. 3). Nous observons, de plus, une diminution significative du nombre d'épis par poquet et par m^2 à la limite du houppier.

Cherchant à quantifier l'accroissement réel de rendement apporté par *Faidherbia albida*, nous avons calculé les productions moyennes observées à l'intérieur des différents anneaux de mesure :

Le rendement moyen du mil en grains est maximal au pied de l'arbre et diminue dès que l'on s'en éloigne mais moins rapidement que le rendement entre anneaux. Ainsi, si le dernier anneau sous le houppier (dont le rayon moyen est de 4,9 m) présente une augmentation de rendement de 49 % par rapport au témoin, l'augmentation est de 62 % pour l'ensemble du couvert, soit 75 m^2. Cette augmentation est de 48 % pour les 125 m^2 où le rendement est significativement supérieur au témoin. Sur l'ensemble des 300 m^2 récoltés, l'augmentation de production est encore de 20 %, ce qui n'est pas négligeable. Ceci nous permet d'avancer l'hypothèse qu'une augmentation globale de 20 % des rendements du mil pourrait être obtenue, dans les conditions de cette étude, par un parc à *Faidherbia albida* de 33 arbres (fortement émondés) à l'hectare ou un taux de couverture des houppiers de 25 % (projection au sol de la surface du houppier). 17 arbres/ha ou un taux de couverture de 13 % apporteraient un accroissement de la récolte de 10 % * et les densités actuelles constatées de 5 arbres/ha n'améliorent la production globale en mil que de 3 %.

FIGURE 3

Influence de *Faidherbia albida* sur la densité de poquets et d'épis de mil à Sob : parcelles de bonne productivité et moyenne de huit observations.



- **Sur les parcelles de faible productivité en mil, l'effet en apparence supérieur n'a pas pu être démontré statistiquement**

Le faible nombre de répétitions limite le nombre de valeurs significatives : ainsi une augmentation de rendement en grains de 157 % n'apparaît-elle pas comme significative en raison de l'importance de la variabilité des valeurs observées. Notons toutefois que l'arbre qui possède le houppier le moins émondé n'a montré aucune influence sur les rendements, l'effet « mauvais cultivateur » étant certainement prépondérant.

Dans l'ensemble (cf. fig. 4, p. 130), les résultats confirment ceux obtenus sur les bonnes parcelles : augmentation significative du poids des épis (+ 44 % contre + 36 % dans les bonnes parcelles) et du poids de grains par épi (+ 59 % contre + 36 %) dans les 75 m^2 centraux.

L'accroissement de la production dans les trois anneaux centraux est de 113 % (N.S.) contre + 62 % dans les bonnes parcelles et de + 43 % sur l'ensemble des 300 m^2 récoltés contre + 20 %. L'effet de *Faidherbia albida* serait donc plus important en valeurs relatives dans les mauvaises parcelles. Notons toutefois que les améliorations constatées dans les parcelles de faible productivité ramènent les valeurs des différents paramètres observés à un niveau comparable à celui du témoin des « bonnes » parcelles. Cet effet est vital

* Ndlr. Nous laissons à l'auteur la responsabilité de cette hypothèse car, pour notre part, nous estimons qu'il n'est pas évident que l« amélioration » constatée sur 5 arbres/ha soit extrapolable à 33 arbres/ha. En effet, il est possible que comme le pense VAN DEN BELDT, la fertilité précède en partie l'installation des arbres, d'autre part l'apport de fèces par le bétail ou l'interception de dépôts éoliens... n'est pas proportionnel au nombre total d'arbres.

FIGURE 4

Influence de *Faidherbia albida* sur le rendement en épis et en grains du mil à Sob : parcelles de faible productivité et moyenne de trois observations.

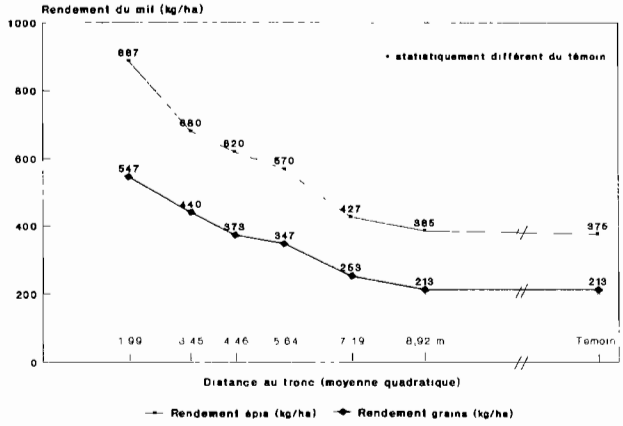


FIGURE 5

Influence de *Faidherbia albida* sur les rendements des gousses d'arachide à Sob.

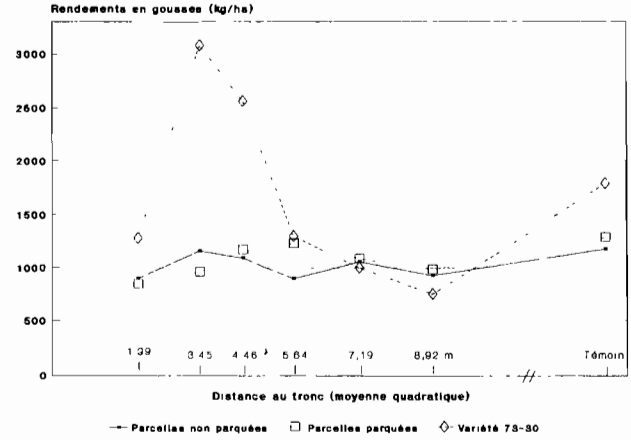
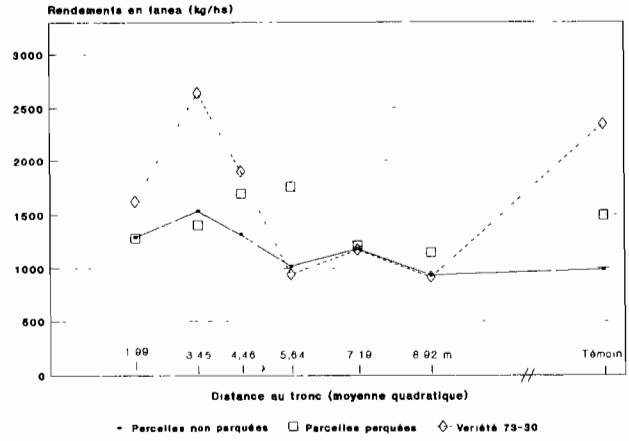


FIGURE 6

Influence de *Faidherbia albida* sur les rendements des fanes d'arachide à Sob.



pour les agriculteurs pauvres qui ne possèdent que des parcelles de faible productivité potentielle.

Au niveau de la densité des poquets de mil au moment de la récolte, on observe une diminution significative à l'extérieur du houppier.

ARACHIDE

- **L'« effet *Faidherbia albida* » sur culture d'arachide est apparemment paradoxal**

Les figures 5 et 6 montrent, pour les parcelles parquées, les parcelles non parquées et, pour la variété sélectionnée 73-30 (avec graines traitées), l'évolution des rendements en gousses et en fanes obtenus en fonction de la distance au tronc de *Faidherbia albida*.

Une tendance commune s'en dégage : en s'éloignant du tronc, la production augmente puis diminue jusqu'en dehors des limites du houppier, puis augmente à nouveau au niveau du témoin. Des variations par cas sont enregistrées. La courbe des rendements de la variété améliorée 73-30, qui semble mieux répondre aux effets de *Faidherbia albida,* ne peut être analysée faute de répétition. Elle est cependant présentée ici en raison de sa similitude avec les autres observations.

- **Parcelles non parquées**

Le tableau II présente les principaux résultats obtenus.

Pour les rendements gousses, nous constatons en figure 5 une courbe à trois minima : l'un au pied de l'arbre, le second à la limite du houppier (dont le

TABLEAU II
Evolution des paramètres agronomiques d'une culture d'arachide en fonction de la distance au tronc de *Faidherbia albida*
Cas des parcelles non parquées - moyennes de quatre observations

DIST (cm)	DENS (× 100)	GO/HA (kg)	FA/HA (kg)	GO/FA (%)	GO/PI (n)	100 GO (g)	100 GR (g)	GR/GO (n)	RDTGR (%)
199	964*	900*	1 295*	71,4*	9,5	76,6	38,4	1,45	72,8
345	1 281	1 160	1 535*	74,9*	9,0	74,8	40,0	1,45	72,7
446	1 306	1 095	1 315*	82,6*	8,5	72,8	38,5	1,36	71,9*
564	1 031	897*	1 022**	87,3*	8,7**	75,4	38,2	1,43	72,7
719	1 239	1 060	1 183	89,5*	8,6**	73,9	37,7	1,44	73,6
892	1 079	927*	936	100,3*	8,8**	79,3	38,8	1,50	73,4
TÉMOIN	1 179	1 181	990**	125,6**	10,2**	77,5	38,5	1,50	74,3**

Facteurs étudiés (tableaux II et III) :
DIST : distance moyenne quadratique de l'échantillon par rapport au tronc
DENS : nombre de pieds d'arachide à l'hectare
GO/HA : rendement gousses à l'hectare
FA/HA : rendement fanes à l'hectare
GO/FA : rapport poids de gousses sur poids de fanes × 100 (remarque : la moyenne des rapports GO/FA ne correspond pas exactement au rapport des moyennes GO/HA et FA/HA)
GO/PI : nombre de gousses par pied d'arachide
100 GO : poids de 100 gousses
100 GR : poids de 100 graines
GR/GO : nombre de graines par gousse
RDTGR rendement pondéral (%) au décorticage
* Indique une valeur significativement différente du témoin
** Valeurs statistiquement différentes de celles observées dans les parcelles parquées présentées au tableau III - seuil 5 %.

rayon moyen est de 5,35 m ; le 4e anneau va de 4,9 à 6,3 m) et le 3e bien en dehors des limites de la cime (entre 8 et 9,8 m). Ces trois minima sont significativement différents du témoin et correspondent aux trois minima observés au niveau de la densité des pieds d'arachide dont seul, cependant, celui près du tronc est significativement différent du témoin.

L'arbre améliore significativement le rendement en fanes (cf. fig. 6) dans un rayon de 5 m. Il influe significativement sur le rapport gousses sur fanes sur l'ensemble des 300 m² récoltés, laissant supposer que, si des différences significatives n'ont pas été mises en évidence pour d'autres critères, la cause pourrait en être une insuffisance de répétitions.

Sous l'arbre, le nombre de gousses par pied est inférieur au témoin mais cette différence est seulement significative au niveau de la limite du houppier (4e anneau). Il en va de même pour le rapport poids de graines sur poids de gousses mais la différence significative se marque ici au niveau du 3e anneau.

Les autres composantes du rendement : nombre de graines par gousse, poids de 100 gousses et de 100 graines, ne sont pas influencées par l'arbre.

- **Parcelles parquées**

Le tableau III (page suivante) résume les principaux résultats obtenus.

En cas de fertilisation organique, le rendement en gousses augmente du pied de l'arbre jusqu'à la limite du houppier (4,68 m dans le cas présent) et diminue ensuite pour réaugmenter au niveau du témoin. Il n'y a donc plus que deux minima significativement différents du témoin : le premier toujours au pied de l'arbre, le second à plus de 3 m à l'extérieur du houppier.

L'arbre n'influence pas significativement les paramètres suivants : la densité des plants à la récolte, le rendement en fanes, le poids de 100 gousses et de 100 graines, le nombre de graines par gousse. Par contre, on observe une diminution significative du nombre de gousses par pied dans les anneaux 1 et 3,

TABLEAU III
Evolution des paramètres agronomiques d'une culture d'arachide en fonction de la distance au tronc de *Faidherbia albida*.
Cas des parcelles parquées régulièrement (1 an sur 4) - moyennes de cinq observations

DIST (cm)	DENS (× 100)	GO/HA (kg)	FA/HA (kg)	GO/FA (%)	GO/PI (n)	100 GO (g)	100 GR (g)	GR/GO (n)	RDTGR (%)
199	877	844*	1 284	67,0*	9,3*	75,3	39,0	1,39	71,9
345	946	960	1 404	67,4*	10,0	74,6	38,6	1,39	71,8
446	1 162	1 172	1 688	69,6*	9,8*	73,1	39,1	1,31	70,2*
564	1 023	1 230	1 756**	72,2	12,7**	75,2	39,0	1,40	72,4
719	893	1 087	1 212	92,6	12,3**	79,3	38,9	1,48	72,3
892	855	985*	1 149	87,4	11,5**	74,8	38,6	1,39	71,5
TÉMOIN	992	1 289	1 492**	88,2**	13,6**	74,6	38,0	1,42	72,5**

* Une astérisque indique une valeur significativement différente du témoin et deux astérisques des valeurs statistiquement différentes de celles observées dans les parcelles non parquées présentées au tableau II - seuil 5 %
(Facteurs étudiés : cf. tableau II, p 131).

ainsi que du rapport poids de graines sur poids de gousses au niveau de l'anneau 3.

- **Comparaison entre parcelles parquées et non parquées**

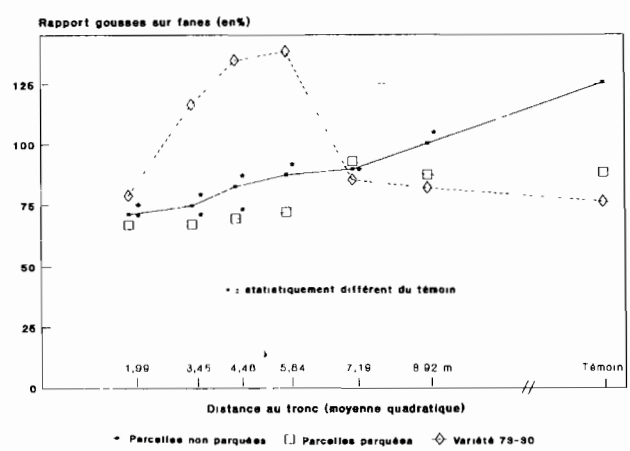
Nous avons mis en évidence les différences significatives suivantes :

• Au niveau du témoin, nous constatons que l'apport de matières organiques d'origine animale augmente la production de fanes (+ 51 % S) sans toutefois augmenter sensiblement la production de gousses (+ 9 % NS). Elle diminue donc le rapport poids de gousses sur poids de fanes (cf. fig. 7) bien qu'elle augmente le nombre de gousses par pied (+ 33 % S) tout en diminuant légèrement le rapport poids de graines sur poids de gousses (– 2 % S).

• Dans les 300 m² récoltés, l'apport de déjections animales augmente le nombre de gousses par pied (+ 40 % S), sauf dans les 75 m² au pied de l'arbre, et augmente le rendement en fanes à la limite du houppier (+ 72 % S).

FIGURE 7

Influence de *Faidherbia albida* sur le rapport gousses/fanes de l'arachide à Sob.



Nous avons également cherché à quantifier l'influence réelle de *Faidherbia albida* sur un champ de culture en estimant les rendements moyens à l'intérieur de chaque cercle de mesure (cf. tableau IV).

Nous observons que *Faidherbia albida* a un effet globalement dépressif sur le rendement en gousses de l'arachide, parcelles parquées ou non, jusqu'à au moins 10 m du tronc. Les mesures faites au niveau du dernier anneau étant statistiquement inférieures au témoin, rien ne nous permet de déterminer la limite de la zone d'influence de l'arbre. Quoi qu'il en soit, si l'on peut estimer, dans les conditions de l'étude, la perte de rendement en gousses liée à un peuplement qui ferait

TABLEAU IV
Evolution des rendements cumulés de l'arachide, gousses et fanes en fonction de la distance au tronc de *Faidherbia albida*

Distance (cm)	Rendements gousses cumulés				Rendements fanes cumulés			
	Non parquées		Parquées		Non parquées		Parquées	
	kg/ha	% témoin	kg/ha	% témoin	kg/ha	% témoin	kg/ha	% témoin
282	900	76	844	65	1 295	131	1 284	86
399	1 030	87	902	70	1 415	143	1344	90
489	1 052	89	992	77	1 382	140	1 457	98
631	990	84	1 087	84	1 238	125	1 578	106
798	1 016	86	1 087	84	1 217	123	1 440	97
977	986	84	1 053	82	1 124	114	1 343	90
TÉMOIN	1 179	100	1 289	100	990	100	1 492	100

33 arbres à l'hectare (– 16 % en parcelles non parquées et – 18 % en parcelles parquées), on ne peut préjuger de la perte liée à toute autre densité d'arbres. A titre indicatif, et en supposant que la zone d'influence est bien limitée à 300 m^2, la perte de rendement en gousses, aux densités actuelles de cinq arbres par hectare, serait de 2,4 à 2,8 %.

En ce qui concerne les fanes, *Faidherbia albida* augmente leur production dans le cas des parcelles non fumées (+ 14 % sur 300 m^2) et la diminue dans le cas des parcelles parquées (– 10 % sur 300 m^2). Ceci représente pour une densité de cinq arbres par hectare, respectivement, une augmentation de 2,1 % et une diminution de 1,5 % du rendement.

DISCUSSION

- **Un parc très peu dense et très émondé a un effet très faible sur les productions de mil et d'arachide, au moins au cours de l'année étudiée**

L'effet sur les récoltes que nous venons de mettre en évidence représente, dans le cas de Sob, avec un parc de 5 pieds à l'hectare de *Faidherbia albida* fortement émondé, une augmentation globale moyenne de 3 % de la production de grains de mil et une diminution de rendement en gousses d'arachide de l'ordre de 2,8 à 2,4 % selon que l'on soit en parcelles parquées ou non. Pour les fanes, dans les parcelles non parquées, qui représentent actuellement près de 98 % du terroir (GARIN, 1988), l'augmentation du rendement serait de 2,1 % et la diminution, dans les rares parcelles parquées, serait de 1,5 %.

L'influence globale de l'arbre, dans ces conditions, apparaît insignifiante. Dans d'autres conditions, avec une pluviométrie plus faible, plus forte ou répartie différemment, peut-être aurions-nous eu des résultats différents ?

Extrapolons cependant nos résultats de façon tout à fait théorique à une situation semblable à celle de Sob à la fin des années soixante où le couvert des *Faidherbia albida* atteignait 2 000 m^2/ha :

La production de mil-grains augmenterait de 97 kg/ha, soit + 15 %, valeur qui n'est plus négligeable. On obtiendrait également un accroissement de 107 kg/ha, soit + 11 %, de la production de fanes de l'arachide (fourrage d'appoint) et une réduction de 154 kg/ha, soit – 13 %, de la production de gousses.

Ces différences justifient pleinement l'ancienne technique paysanne qui voulait que le mil soit cultivé sous *Faidherbia albida* même dans les champs d'arachide. Actuellement, avec l'émondage important pratiqué et avec la diminution du nombre d'arbres, les différences de rendement ne sont sans doute plus

Peuplement de *Faidherbia albida* fortement émondé pour le fourrage d'appoint et le bois.

Type d'aménagement possible, conseillé par DANCETTE : plantations en lignes de *Faidherbia albida* où seraient cultivées les céréales sous le couvert des arbres (bandes de 15 m de large) et l'arachide dans les bandes dégagées (localisation CRA-Bambey).

suffisantes pour que l'agriculteur prenne le temps d'effectuer des cultures différentes en plein champ et sous les arbres. Cette constatation pourrait militer en faveur de l'idée développée par DANCETTE (1968) d'organiser le paysage avec des bandes boisées de *Faidherbia albida,* sous lesquelles seraient cultivées les céréales alors que l'arachide le serait dans l'interbandes *.

Nous venons de quantifier l'effet de *Faidherbia albida* émondés, en milieu paysan, sur des cultures de mil et d'arachide. Nous essayerons ici d'expliquer, à la lumière de travaux antérieurs, le pourquoi de certaines observations.

- **Une réduction de la densité de mil et d'arachide sous l'arbre impossible à expliquer dans les conditions de l'étude**

On observe, aussi bien pour le mil que pour l'arachide, des diminutions de densité dans le placeau central et en dehors de la limite du houppier. Ces valeurs plus faibles ne sont cependant pas toujours significatives. De même, on remarque généralement une augmentation de densité au niveau des 2e et 3e anneaux.

Rappelons que la saison des pluies, en 1988, a débuté par une pluie de 35 mm suivie par une longue période sèche. On notera tout d'abord que l'arachide, ayant eu un meilleur développement végétatif initial dans les parcelles parquées, a par la suite plus souffert de la sécheresse, ce qui explique une moindre densité globale que dans les parcelles non fumées.

La densité plus faible au pied des arbres (*Faidherbia albida* n'ayant pas de racines traçantes, celui-ci ne peut être mis en cause pour la concurrence nutritionnelle ou hydrique) pourrait être due à une réduction de l'insolation à cet endroit du fait de la défeuillaison tardive de certains *Faidherbia albida*. DELWAULLE et MIALHE, 1974, signalent la très grande variabilité temporelle de la période de défoliation de l'espèce. Malheureusement, aucun suivi phénologique n'a accompagné notre expérimentation. Cette réduction du nombre de plants dans le cercle central peut également s'expliquer partiellement par la réduction de surface utile, due à l'emprise de l'arbre (1 m^2 = 4 %) et par une modification du semis liée à la présence d'un obstacle.

* Ndlr. Il s'agit à notre avis d'une conception « très années 60 », époque où l'agronome prétendait organiser le paysage de façon assez technocratique. Dans la réalité, l'installation de *Faidherbia albida* en bandes est très difficile pour des raisons sylvicoles, foncières et pastorales ; elle est peut-être moins favorable, pour l'amélioration microclimatique, qu'une répartition continue. Par ailleurs, il n'est pas du tout certain qu'il soit souhaitable de cultiver le mil et l'arachide séparément et toujours sur les mêmes parcelles. Les paysans adoptent des stratégies « antirisque » plus fines en associant les cultures, quitte à favoriser l'une ou l'autre en fonction de divers aléas annuels imprévisibles (pluviométrie et autres).

La réduction de la densité, en dehors de la projection du houppier,est explicable par l'interception, par le houppier des arbres, de la précipitation oblique du 24 juin. DANCETTE et POULAIN (1968) ont montré l'importance de cette interception et quantifié les différences de précipitations sous le houppier par rapport à une zone dégagée : ainsi pour un arbre dont la cime fait 7 à 8 m de rayon, sur huit pluies obliques de 13,6 à 42,4 mm, ils ont observé, en moyenne sur les huit directions cardinales, une augmentation de 14 % de la pluviométrie à 1 m du tronc (augmentée de l'écoulement le long de celui-ci), de + 27 % à 3 m et de + 20 % à 5 m. A la limite du houppier, l'augmentation constatée n'est que de 2 % mais, pour le cas d'une pluie de 10 mm, l'augmentation est de 15 % du côté au vent compensée par une diminution allant jusque 29 % à l'emplacement le mieux protégé du côté sous le vent. Il n'est pas douteux que cette réduction de la pluviométrie se marque sur plusieurs mètres à l'extérieur des limites du houppier.

Les vents de début de saison des pluies étant en majorité de secteur sud-est, le secteur au nord-ouest de l'arbre est défavorisé d'autant plus que c'est celui qui subit l'insolation et les températures maximales de l'après-midi, donc un accroissement sensible de l'ETP. En raison de la longueur de la période sèche qui a suivi le semis, la mortalité ainsi induite dans ce secteur nord-ouest explique la moindre densité moyenne des anneaux hors houppier. En contrepartie, l'augmentation de la pluviométrie sous l'arbre explique partiellement une meilleure densité à cet endroit. Il faut également y associer la réduction de l'évaporation, l'augmentation de l'humidité relative, l'écrêtement des températures minimales et maximales, donc la réduction de l'évapotranspiration à l'abri du houppier (DANCETTE et POULAIN, 1968). De telles différences de densité à la récolte ne devraient pas se marquer en années à pluviométrie bien répartie *.

- **La réduction de biomasse arborée dans les parcs doit logiquement diminuer les retombées de litière, les apports organiques et l'activité biologique du sol**

Les diverses études antérieures ont montré que l'effet bénéfique de *Faidherbia albida* se traduisait par une amélioration du sol grâce aux retombées organiques associée à une activité microbiologique dans le sol beaucoup plus intense en saison des pluies. Les analyses pédologiques effectuées par les différents auteurs (CHARREAU, VIDAL, 1965 ; DANCETTE, POULAIN, 1968 ; JUNG, 1967, 1969) concordent assez bien et montrent que les plus grandes modifications du sol sont d'ordre organique. Ainsi DANCETTE et POULAIN, en milieu paysan, ont relevé des augmentations, sous l'arbre, rapportées à l'hectare, de 5,3 t de matière organique anhydre, 300 kg d'azote, 403 kg de CaO, 42 kg de K_2O, 60 kg de P_2O_5 total et 30 kg de P_2O_5 assimilable, tout en remarquant que les différences constatées sur la potasse et le phosphore ne sont pas significatives.

JUNG (1969), dans son étude des retombées organiques sous *Faidherbia albida*, a estimé que celles-ci s'élevaient à 11,3 t par hectare (dans le cas d'un couvert continu hypothétique) : l'ensemble de cette litière est décomposée en moins d'un an, l'analyse des retombées confirme la faible augmentation du phosphore dans le sol constatée par les différents auteurs.

Dans le cas de notre étude, tous les arbres sont émondés, ce qui réduit fortement la floraison et la fructification. De plus, les fruits produits sont récoltés et exportés ; les retombées par les fruits sont donc nulles et celles par les fleurs fortement diminuées.

De plus, en 1970, JUNG confirmait l'existence d'un gradient négatif d'activité biologique dans le sol en s'éloignant de l'arbre. Celui-ci doit également être fortement influencé par l'émondage : la minéralisation doit donc être ralentie.

- **Les diminutions de rendement en gousse de l'arachide sous l'arbre pourraient être dues à un excès d'azote dans le sol ou à l'ombrage au moment de la floraison**

GAUTREAU (IRHO, 1966) avait montré par analyse foliaire que, pour des sols à bonne nutrition générale, *Faidherbia albida* n'avait aucune influence sur le rendement en gousses. Par contre, dans le cas de sol déficient en phosphore, l'arbre améliorait le rendement de 44 % et, dans le cas d'une insuffisance en potasse, l'arbre augmentait le rendement de 35 %.

En cas d'alimentation hors houppier satisfaisante, ce qui semblerait être le cas ici, (les rendements gousses sont de l'ordre de 1,2 t/ha malgré une faible pluviométrie et les différences de rendement en gousses constatées entre parcelles parquées ou non peuvent simplement résulter d'un retard de sarclage au moment de la floraison dans les parcelles non parquées), l'arbre n'a pas d'effet sur les rendements en gousses (IRHO, 1966).

La réduction de la production de gousses sous le houppier pourrait alors résulter de la synergie des deux facteurs suivants :

• Un déséquilibre accru entre l'azote (qui est en quantité suffisante puisqu'on observe une augmenta-

* Ndlr. Il n'est pas raisonnable de vouloir « trier » entre les différents effets microclimatiques (température, ETP, pluviométrie,...) et pédologiques sans avoir mis en place des moyens lourds d'observations sur plusieurs années. L'auteur a cependant le mérite de poser le problème, mais il ne peut pas aller plus loin en matière explicative.

tion sensible de la production de fanes), d'une part,et le potassium et/ou le phosphore (dont les retours sont insuffisants), d'autre part. Notons à ce propos qu'actuellement l'arachide ne participe plus aux retours minéraux puisque la totalité des fanes est actuellement exportée pour l'alimentation du bétail (valeur fourragère 0,4 UF/kg).

• La réduction de l'ensoleillement au moment de la floraison de l'arachide, ensoleillement qui doit être maximal à cette étape du développement physiologique de la plante pour obtenir une bonne fructification.

Le rapport gousses sur fanes est modifié par l'arbre, même émondé, jusqu'à 10 m du tronc au minimum dans les parcelles non parquées et 6 m dans les parcelles parquées. *Faidherbia albida* et les déjections animales ayant les mêmes effets sur ce rapport, ceci confirme le rôle prépondérant de la matière organique dans l'effet de l'arbre. Ainsi, l'arachide répond-elle à un accroissement de cette matière organique qui serait soit un arrière effet des arbres avant émondage important, soit la conséquence d'une dispersion assez large des retombées foliaires. Ces deux hypothèses sont à étudier.

La baisse du rendement en gousses entre 8 et 10 m, donc en dehors de la limite du houppier, ne pouvant s'expliquer entièrement par une réduction de la densité des plants récoltés, est due à un facteur que nous ne pouvons appréhender suite aux diverses études déjà réalisées. Ce fait nous amène à penser que la méthodologie de récolte des données, dans une étude comme celle-ci, est extrêmement importante : ainsi, en plaçant nos témoins dans la zone dépressive hors houppier nous aurions été amenés à conclure à un effet positif du *Faidherbia albida* sur les rendements en gousses, ce qui n'est manifestement pas le cas.

- **Pour le mil, l'augmentation de production mesurée sous *Faidherbia albida* émondé est inférieure à celle donnée par la littérature pour des arbres intacts**

DANCETTE et POULAIN (1968) ont montré que le rendement du mil était lié au pH du sol, ainsi qu'à sa teneur en carbone et en azote, ces trois facteurs étant favorablement influencés par *Faidherbia albida.* CHARREAU et VIDAL (1965) avaient déjà montré, par analyses foliaires, que le mil absorbait préférentiellement l'azote, le calcium et le magnésium. Ils avaient également constaté des augmentations non significatives de potassium, de sodium et de phosphore.

Les retours en azote restant encore satisfaisants malgré l'émondage, le mil réagit positivement en montrant un accroissement de rendement en grains de 73 % au pied de l'arbre. Celui-ci diminue en s'éloignant du tronc, ainsi que les teneurs du sol en azote (CHAREAU, VIDAL ; DANCETTE, POULAIN ; JUNG), pour se stabiliser au niveau du témoin en dehors des limites du houppier actuel.

DANCETTE et POULAIN ont trouvé une augmentation du rendement en grains de 477 kg sous *Faidherbia albida* correspondant aux 486 kg de l'accroissement que nous avons observé dans le cercle central. Ces deux observations effectuées en milieu paysan, avec exportation des gousses du faidherbia pour l'alimentation du bétail, concordent. Par contre CHARREAU et VIDAL ont trouvé, en milieu soustrait au pâturage depuis de nombreuses années (donc vraisemblablement avec une exportation réduite des gousses de l'arbre) mais avec culture continue de mil, les accroissements suivants que nous comparerons aux nôtres (cf. tableau V).

Les deux études concordent sur deux points : le rendement des parcelles-témoins et le poids des grains

TABLEAU V
Comparaison des rendements de mil observés par CHARREAU et VIDAL à ceux de la présente étude

Facteur observé	Localisation	Production observée	
		CHARREAU et VIDAL	LOUPPE *et al.*
Rendement grains (kg/ha)	Hors houppier	660	645
	Limite houppier	983	815
	Sous houppier	1 668	1 115
Poids de grains par épi (g)	Hors houppier	22,6	20,8
	Limite houppier	23,3	27,3
	Sous houppier	29,8	29,9

par épi sous le houppier (à l'endroit le plus favorable pour la présente étude).

Le poids de grains par épi plus élevé que nous observons à la limite du houppier pourrait être dû à un arrière-effet de l'arbre avant le dernier émondage.

Bien qu'il soit possible de contester le mode d'extrapolation des rendements à l'hectare fait par CHARREAU et VIDAL, nous constatons cependant des différences tellement importantes (+ 50 % sous houppier par rapport à nos meilleures observations) que nous émettons l'hypothèse, pour des arbres non émondés, d'un effet bénéfique supérieur à celui que nous avons observé.

L'étude doit donc être poursuivie pour quantifier avec précision cet effet négatif de l'émondage sur les rendements agricoles. Mais il apparaît aussi nécessaire de préciser, au niveau micro-économique, la balance « financière » de l'opération émondage : que rapportent le bois, le fourrage de contre-saison... et que perd-on en production agricole, voire en gousses de *Faidherbia albida* ?

CONCLUSION

La méthodologie proposée pour l'étude de l'influence de *Faidherbia albida* ou d'autres arbres sur les rendements des cultures permet de mettre en évidence des variations de production en fonction de la distance du pied de l'arbre. Ces variations n'avaient pas encore été montrées avec autant de précision sur le mil, ni décelées pour l'arachide. Cette méthodologie semble suffisamment fine pour mettre en évidence des effets de l'émondage si, en se cantonnant dans une classe de sujets de gros diamètre, on étudie trois classes de houppiers bien distinctes : non émondés ou émondés à 40 % et 70 %.

N'oublions pas cependant que cette technique est relativement chère : pour l'étude de 21 arbres, un total de 7 900 m^2 de surface cultivée, soit 168 placeaux, ont été entièrement récoltés, séchés, pesés, battus, égoussés...

Il serait donc souhaitable, pour la poursuite d'une telle expérimentation, d'y associer un certain nombre d'observations complémentaires permettant de mieux appréhender les phénomènes observés. Ces observations concernent la phénologie de l'arbre, son influence sur le microclimat (vitesse des vents, répartition des précipitations, humidité relative, humectation du sol...), l'importance des retombées organiques, les caractéristiques pédologiques et la nutrition des plantes cultivées.

Pour une extrapolation à une région entière dans des conditions pluviométriques données, il faudrait obtenir des données :

- sur une large gamme de pluviométrie (une dizaine d'années) ;
- sur les principales variétés d'arachide et de mil utilisées ;

Beau peuplement de *Faidherbia albida* peu émondé. L'émondage est réalisé « discrètement » pour le fourrage d'appoint en contre-saison.

- sur les systèmes de culture les plus utilisés en milieu paysan (avec une évaluation de leur proportion respective).

Enfin, et dans un autre ordre d'idées, il faudrait mener des enquêtes pour déterminer les raisons de l'émondage : est-ce un choix raisonné du cultivateur, de l'éleveur, du chef de terre ou est-ce le résultat d'un pillage du pâturage aérien dont on percevrait les inconvénients sans maîtriser les remèdes ? ■

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CENTRE TECHNIQUE FORESTIER TROPICAL, 1988. — *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. (Synonyme : *Acacia albida* Del.), monographie. Nogent-sur-Marne, France, C.T.F.T., 72 p.

CHARREAU (C.), 1970. — Note sur les sols du terroir de Sob. Mimémo. Bambey, Sénégal, C.N.R.A., 9 p.

CHARREAU (C.), VIDAL (P.), 1965. — Influence de l'*Acacia albida* (Del.) sur le sol ; nutrition minérale et rendement des mils Pennisetum au Sénégal. Agr. Trop. vol. XX, 6-7 : 600-626.

DANCETTE (C.), 1966. — Etude de six microclimats à Bambey. Influence des brise-vent. Bambey, Sénégal, IRAT-C.N.R.A.

DANCETTE (C.), 1968. — Note sur les avantages d'une utilisation rationnelle de l'*Acacia albida* au Sénégal, Bambey, Sénégal, IRAT-C.N.R.A., 6 p.

DANCETTE (C.), POULAIN (J.F.), 1968. — Influence de l'*Acacia albida* Del. sur les facteurs pédologiques et les rendements des cultures. Nouvelle contribution, Sénégal, IRAT, 45 p.

DELWAULLE (J.C.), MIALHE (Ph.). — Observations sur la foliation d'*Acacia albida.* Niger, Haute-Volta, C.T.F.T, 1974, np.

GARIN (P.), 1988. — Itinéraires techniques et étude du rendement de l'arachide à Sob — village du Sine — en 1987. Kaolack, Sénégal, ISRA-D.R.S.A.E.A., 30 p.

GARIN (P.), 1989. — Phytotechnie arachide à Sob, village du Sine en 1988. Mimémo, ISRA/DSA-CIRAD, Kaolack, Sénégal, np.

GARIN (P.), THIAM (A.), 1989. — Phytotechnie du Mil à Sob, village du Sine, en 1988. Mimémo, Kaolack, Sénégal, ISRA/DSA-CIRAD, np.

GIFFARD (P.L.), 1974. — L'arbre dans le paysage sénégalais. Sylviculture en zone tropicale sèche. Dakar, Sénégal, C.T.F.T., 431 p.

I.R.H.O., 1966. — Compte rendu des essais sous Kads, rapport annuel Mimémo. Bambey, Sénégal, I.R.H.O., p. 19-29.

JUNG (G.), 1967. — Influence de l'*Acacia albida* Del. sur la biologie des sols « Diors ». Dakar, Sénégal, ORSTOM.

JUNG (G.), 1969. — Cycles biochimiques dans un écosystème de région tropicale sèche : Acacia albida *Del.* sur sols ferrugineux peu lessivés (Dior). O.E.C.O.L. Plant. 4 (2) : p. 195-210.

JUNG (G.), 1970. — Variations saisonnières des caractéristiques microbiologiques d'un sol ferrugineux tropical peu lessivé (Dior) soumis ou non à l'influence d'*Acacia albida* Del. O.E.C.O.L. Plant. 5 (2) : p. 113-136.

JUNG (G.), 1986. — Etude de l'influence de l'*Acacia albida* Del. sur les processus microbiologiques dans le sol et sur leurs variations saisonnières. Rapport ORSTOM, Dakar, Sénégal.

LERICOLLAIS (A.), 1988. — Evolution du parc arboré en pays sereer. Séminaire sur l'évolution des systèmes agraires sereer. Niakhar, Sénégal, ORSTOM/Bel-Air, 17 p.

PELISSIER (P.), 1966. — Les paysans du Sénégal. Saint Yrieix, France, Imprimerie Fabrège, 939 p.

POULAIN (J.F.), DANCETTE (C.), 1968. — Influence de l'*Acacia albida* sur les facteurs pédoclimatiques et sur les rendements des cultures. Bambey, Sénégal, IRAT.

POULAIN (J.F.), 1984. — Influence de l'*Acacia albida* Del. sur les facteurs pédoclimatiques et les rendements des cultures. Le point de vue de l'agronome Haute-Volta, IRAT.

SCHOCH, (P.G.), 1966. — Influence sur l'évapotranspiration potentielle d'une strate arborée au Sénégal et conséquences agronomiques. Agr. Trop., 11, 1283-1290.

Dominique LOUPPE
IDEFOR/DFO
08 BP 33
Abidjan 08 (Côte-d'Ivoire)

B. N'DOUR et S.A.N. SAMBA
ISRA/DRPF
BP 2312
Dakar (Sénégal)

Credit photos D LOUPPE, R PELTIER

RÉSUMÉ

Faidherbia albida (Del.) A. Chev. (synonyme *Acacia albida* Del.) est l'arbre le mieux représenté dans les terrains de culture du bassin arachidier sénégalais. Son influence sur les rendements agricoles est reconnue et a fait l'objet de plusieurs études à la fin des années 60.

Malgré cet avantage, cet arbre n'est pas aussi respecté par les populations paysannes que l'on a tendance à le croire ; il est même en régression dans les terroirs sérères. De plus, il est actuellement très fortement émondé pour fournir du fourrage de contre-saison, des branchages pour la construction des haies mortes et du bois de feu.

Les auteurs émettent l'hypothèse que cet émondage pourrait avoir réduit notablement l'influence favorable de *Faidherbia albida* sur les deux principales cultures de cette région (arachide et mil).

Ils ont donc souhaité comparer la production de ces deux cultures en fonction de leur distance au tronc de *Faidherbia albida*. Pour cela, dans un premier temps, ils ont mis au point un protocole de récolte de données. Les études, pour tester cette méthodologie, ont porté sur 21 arbres dont 10 en parcelles cultivées en arachide et 11 en culture de mil, tous les arbres étant émondés.

Pour le mil, on a observé dans le cas de parcelles de « bonne » productivité (645 kg de grain par hectare), des augmentations significatives des rendements épis (+ 49 %) et grains (+ 48 %) dans un rayon de 6,3 m autour du tronc. Dans cette même zone, le poids moyen d'un épi augmente de 34 %. L'augmentation de la densité des plants, au moment de la récolte, et du nombre d'épis par mètre carré n'est significative que dans un rayon de 4 m. Dans les parcelles de faible productivité (213 kg de grains par hectare), l'augmentation de rendement dans les six premiers mètres est de 60 %, mais n'est pas significative. Dans les deux cas, la production décroît progressivement à partir du tronc pour se stabiliser au niveau de celle du témoin à partir de 8 m.

Pour l'arachide, on observe un effet dépressif significatif sur le rendement des gousses dans les trois premiers mètres autour du tronc, puis une augmentation du rendement qui reste cependant légèrement inférieur au témoin, et à nouveau une baisse de production significative entre 8 et 10 m. Cette zone peu productive se trouve en dehors des limites du houppier. La production de fanes par rapport aux gousses est fortement favorisée par l'arbre, ainsi que par l'apport de fumier par les animaux.

A la lumière d'études antérieures, les auteurs cherchent à expliquer le pourquoi de ces variations de rendement.

Mots-clés : *F. albida.* Agroforesterie. Production agricole. *Arachis hypogea. Pennisetum typhoïdes.* Productivité. Système agrosylvopastoral.

ABSTRACT

Faidherbia albida (Del.) A. Chev. (synonymous with *Acacia albida* Del.) is the best represented tree in the farmlands of the Senegalese groundnut-growing basin. Its influence on crop yields is acknowledged and was studied several times over in the late 1960s.

Despite this advantage, this tree is not as respected by farming people as one might tend to think, and it is in regression even in the Sérères areas. Furthermore, it is currently very heavily trimmed and pruned to supply out-of-season fodder, branches for building dead fences, and fuelwood.

The authors present the hypothesis that this trimming might have considerably reduced the favourable influence of *Faidherbia albida* on the two main crops in this region : groundnuts and millet.

The purpose is thus to compare the production of these two crops on the basis of their distance from the *Faidherbia albida* trunk. To do this, in the first instance, they have developed a data-gathering protocol. To test this methodology, the surveys involved 21 trees, 10 of which were in plots planted with groundnuts, and 11 in plots with millet : all the trees were trimmed.

For millet, in the case of plots with « good » productivity (645 kg of grain per hectare), significant increases were observed for yields of ears (+ 49 %) and grain (+ 48 %) in a radius of 6.3 m around the trunk. In this same zone, the average weight of the ear increases by 34 %. The rise in the density of the seedlings at the moment of harvesting and of the number of ears per square metre is only significant within a radius of 4 metres. In plots with poor productivity (213 kg of grain per hectare), the increase in yield in the first six metres is 60 %, but not significant. In both cases, production decreases swiftly starting from the trunk outwards, and stabilizes at the level of the control as from 8 metres.

For groundnuts, a significant depressive effect is observed on the yield of pods in the first three metres around the trunk, then an increased yield which nevertheless remains slightly lower than the sample, and again a significant drop in production between 8 and 10 metres. This not very productive zone is situated outside the limits of the canopy. The production of haulms in relation to pods is greatly helped by the tree as well as by the manure of animals.

In the light of previous studies, the authors attempt to explain the whys and wherefores of these yield variations.

Key words : *Faidherbia albida.* Agroforestry. Agricultural production. *Arachis hypogea. Pennisetum typhoïdes.* Productivity. Agrosylvopastoral systems.

INFLUENCE DE *FAIDHERBIA ALBIDA* SUR LE SOL ET LE SORGHO

Observations dans le parc de Watinoma au Burkina Faso

par Robert OLIVER, agronome et agrochimiste, CIRAD-CA
Denis DEPOMMIER, agroforestier, CIRAD-Forêt
Eve JANODET, étudiante en pédologie, université Paris VI

Sorgho sous faidherbia en saison des pluies.

Dans le cadre d'une convention passée entre l'IRBET (Institut de la Recherche en Biologie et Ecologie Tropicale) et le Programme Spécial de Conservation des Eaux et du Sol/Agroforesterie, CES/AGF, du Plateau Central, des activités de recherche ont été initiées sur le terroir de Watinoma dans la province du Bam au Burkina Faso.

En 1990, une étude-diagnostic du Parc à *Faidherbia albida* fut réalisée comprenant un inventaire floristique assorti de caractérisations dendrométriques et agropédologiques. Des placeaux de rendement de culture du sorgho associé à *Faidherbia albida* ont été mis en place pendant la saison des pluies.

Les résultats de cette étude et l'analyse des premières expérimentations sur l'effet de *Faidherbia albida* sur le sol et sa culture sont ici présentés et discutés.

- **L'effet de *Faidherbia albida* sur les cultures de mil et de sorgho méritait d'être précisé**

Les études qui montrent l'influence de *Faidherbia albida* sur des cultures ne sont pas aussi abondantes au Burkina Faso qu'au Sénégal (cf. travaux de C. CHARREAU, P. VIDAL, C. DANCETTE, J.F POULAIN, G. JUNG, ainsi que de l'I.R.H.O. dans les années 60 et de D. LOUPPE, plus récemment) mais les résultats acquis par la recherche sont comparables.

En particulier, une étude du CTFT-GERES, réalisée en 1965 dans la région de Ouahigouya, fait ressortir une amélioration moyenne de 50 % du rendement du mil sous *Faidherbia albida* corrélé avec les diamètres du tronc et du houppier. Cette amélioration est d'autant plus marquée que le sol est chimiquement pauvre et moins bien alimenté en eau : 78 % en haut de pente sur sol latérique, 18 % en bas-fond.

L'étude de A. MAIGA (1987) dans le Bazèga a également montré une nette augmentation du rendement en grains du sorgho et du mil sous houppier comme dans sa périphérie immédiate (2-3 m hors houppier) par rapport aux témoins hors influence des arbres : respectivement 45 % et 36 % pour le sorgho, 76 % et 75 % pour le mil. Bien qu'aucune différence significative sur le rendement sous et à proximité du houppier n'ait été enregistrée, la tendance montre un pic de rendement en limite du houppier. Enfin, aucun effet de l'orientation cardinale sur les rendements, sous *Faidherbia albida*, n'a été mis en évidence.

Ces résultats intéressants demeurent cependant relativement localisés. Des recherches complémentaires restent à faire pour préciser l'influence de *Faidherbia albida* sur diverses cultures dans différentes situations pédologiques.

Un bilan de l'effet « fertilisant » de l'arbre mériterait d'être établi sur plusieurs saisons, sans ignorer l'effet de l'émondage des arbres et d'autres pratiques d'aménagement des parcs. C'est dans cette perspective qu'a été initiée l'étude du parc à *Faidherbia albida* de Watinoma.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

LE TERROIR DE WATINOMA ET SES DIFFÉRENTS PARCS

On trouvera le détail des données concernant le terroir villageois de Watinoma et ses différents parcs dans le chapitre, p. 9 « Production fruitière et devenir des semences de *Faidherbia albida* » de D. DEPOMMIER *. On peut les résumer ainsi :

Watinoma est un village de la province du Bam au centre-nord du Burkina Faso, la densité de population est élevée (130 hab./km^2). La majorité d'entre elle est constituée par les agriculteurs mossis possédant quelques tête de bétail (labour...) auxquels il faut ajouter les éleveurs peuls.

La pluviométrie de l'année d'étude est déficitaire sans être exceptionnelle (cf. tableau I), par ailleurs les pluies ont été tardives et mal réparties.

* Ndlr. Nous avons jugé préférable de ne pas reprendre dans cet article un certain nombre de données concernant le parc de Watinoma, indiqué dans le premier article de cet ouvrage. Nous prions les lecteurs de nous en pardonner les inconvénients.

TABLEAU I
Pluviométries annuelles de 1982 à 1990 à Watinoma

Année	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	Moyenne 1982-90
P (mm)	549,5	406	543,5	582,5	701	524	921	696	547	608,5
Nombre de jours de pluie	45	32	39	40	43	35	50	38	37	40

Le terroir cultivé s'étend depuis les hauts de pente, proches des villages, anciennement cultivés et abondamment fumés par les déjections du bétail jusqu'aux bas de pente au sols issus du colluvionnement argilo-sableux hydromorphes, sur lesquels s'étendent les cultures depuis une trentaine d'années.

Quatre parcs à *Faidherbia albida* ont été retenus dans le cadre de cette étude dont les caractéristiques principales sont données dans le tableau II.

LES PRATIQUES CULTURALES

Les pratiques culturales varient principalement entre les parcs des bas-fonds (3 et 4) et ceux des hauts de versant (1 et 2). Sur ces derniers, le travail du sol est fait à la houe alors que le labour avec charrue attelée à l'âne est la technique dominante sur sols de bas-fonds. La fumure est essentiellement organique (parcage d'animaux) sur parcs 1 et 2, relevant des champs de village, alors qu'une légère fumure minérale (NPK) est appliquée sur les parcs 3 et 4 de bas-fonds, lesquels bénéficient également d'une fumure organique due au passage des animaux en saison sèche.

La culture du sorgho est sur tous les parcs dominante bien que souvent associée au niébé pour les parc 1 et 2.

Le semis de sorgho, à cycle long dans les bas-fonds, a été réalisé en 1990 le 29-05. Celui à cycle court sur sols gravillonnaires des parcs 1 et 2 a été semé du 25-06 au 5-07 avec une densité sensiblement supérieure (65 cm × 35 cm contre 80 cm × 40 cm en bas-fonds).

ETUDES PÉDOLOGIQUES ET AGRONOMIQUES

- **Les profils et l'échantillonnage des sols ont été réalisés sous et hors houppier de *Faidherbia albida* dans les quatre types de parc...**

Dans chaque parc, ont été réalisés des profils pédologiques avec échantillonnage de sols sur les premiers 20 cm et sur l'horizon 20-40 cm pour les parcs 2, 3 et 4 :

• Sous *Faidherbia albida* à 1,50 m du tronc : quatre prélèvements est, ouest, nord et sud réunis en un échantillon composite (trois arbres par parc).

• Hors *Faidherbia albida*, à 15 m de tout arbre : deux prélèvements constituant un échantillon composite témoin (deux ou trois témoins par parc).

Les douze *Faidherbia albida* sous lesquels sont effectués les prélèvements ont été sélectionnés sur des critères de similitude topographique et dendrométrique dans chaque parc : arbres de diamètre supérieur à 30 cm, aux houppiers également développés et suffisamment isolés de toute influence d'arbres voisins.

TABLEAU II
Répartition et caractéristiques dendrométriques de *Faidheria albida* dans quatre parcs du terroir de Watinoma

N°	Superficie et situation topographique	Densité totale des ligneux/ha	Densité *F. albida*/ha	Ratio *F. albida*/Total des ligneux (%)	Surface moyenne du houppier des *F. albida* (m^2)	Couvert au sol assuré par *F. albida* (%)	Répartition des hauteurs (m) de *F. albida* (%)				Répartition des diamètres (cm) de *F. albida* (%)			
							2-7	7-12	12-17	17-21	5-30	30-60	60-90	90-140
1	1,7 ha Piémont/ haut de versant, champs de village	38	14	37	43 (3 à 239)	6,4	25	35	35	5	24	56	20	0
2	0,6 ha Piémont/ haut de versant champs de village	55	45	82	15,5 (1,5 à 79,5)	7,0	41	59	0	0	67	33	0	0
3	4 ha Bas-fond, champs de brousse	21	7	33	140,5 (9 à 416,5)	9,8	3	11	75	11	14	18	64	4
4	2,2 ha Bordure de bas-fond, champs de brousse	24	19	78	88,5 (1 à 598,5)	16,5	15	58	12	15	50	25	10	15

Semis à la houe de sorgho en début de saison des pluies 93, dans le parc de bas de versant de Watinoma.

- **...De même pour les placettes de suivi agronomique de la culture de sorgho**

Dans chacun des quatre parcs étudiés, un dispositif de placettes de récolte du sorgho était prévu en accord avec les agriculteurs concernés, selon un échantillonnage comptant :

• Dix placettes circulaires sous *Faidherbia albida*. Les arbres sont des individus adultes (diamètre de 60 à 90 cm), au houppier équilibré et d'une surface telle que leur projection au sol contienne la surface de la placette de récolte. En adaptant la méthode LOUPPE (1989), on définit, à l'aide d'une corde passant autour du tronc et tenue à ses deux extrémités, une surface à récolter sous houppier. La longueur de la corde étant fixe (6,50 m), la surface S de la placette est corrigée en fonction du diamètre D du tronc (environ 20 m^2).

• Dix placettes-témoins circulaires, de rayon 3,25 m (S = 33,2 m^2), distribuées aléatoirement à 15 m de tout arbre et dans des conditions topographiques similaires à celles des placettes sous *Faidherbia albida*.

La très mauvaise saison des pluies, divers dégâts occasionnés aux cultures (petit bétail), la présence d'autres cultures que le sorgho sur les placettes-échantillonnées et la récolte faite avant mesure des placettes du parc 2 ont obligé à réduire l'échantillonnage (3,5 et 8 « couples » de placettes pour les parcs 1, 4 et 3) et à choisir d'autres *Faidherbia albida* de dimensions supérieures à celles fixées.

RÉSULTATS

CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES DES SOLS

L'analyse de sols donnée dans le tableau III, p. 146 (valeurs moyennes sous et hors *Faidherbia albida*) fait clairement ressortir des différences, d'une part entre sols de haut de pente (parcs 1 et 2) et sols de bas-fonds (parc 3 et 4) et, d'autre part, entre sols sous et hors *Faidherbia albida*.

En seconde analyse, apparaissent dans chaque parc entre échantillons sous *Faidherbia albida* comme en dehors, des variabilités parfois importantes quant à la teneur en matière organique, azote total et bases échangeables, reflétant la forte hétérogénéité de ces sols.

- **De fortes différences de fertilité entre haut et bas de pente dues au colluvionnement...**

En regard de la toposéquence, les sols de haut de pente, de texture sablo-argileuse, sur cuirasse et matériau gravillonnaire, ont les plus faibles taux de matière organique et bases échangeables, à l'exception du phosphore assimilable. La teneur en phosphore est dans tous les cas inférieure au seuil de carence de 50 mg/kg.

Les sols de bas-fonds (parc 3) et de sa bordure (parc 4) bénéficient d'un transfert de fertilité issu de l'amont qui amoindrit les différences, surtout en matière organique, sous et hors *Faidherbia albida*. De texture argilo-sableuse à argilo-limono-sableuse, ces sols présen-

TABLEAU III

Principales caractéristiques chimiques des sols échantillonnés sous et hors *Faidherbia albida* en parc à Watinoma

Valeurs moyennes pour les horizons 0-20 et 20-40 cm

HORIZON 0-20 cm

Parcs	Echantillon	Matière org. (%)	C org. (%)	N tot. (g/kg)	C/N	P (mg/kg)	Ca (meq)	Mg (meq)	K (meq)	CEC (meq)	pH eau	pH KCl
1	Sous *F. albida*	1,35	0,78	0,92	8,6	36,1	4,27	0,98	0,82	5,77	7,80	6,97
	Témoin	0,93	0,54	0,80	6,7	30,2	4,2	0,96	0,47	5,24	7,68	6,93
2	Sous *F. albida*	1,63	0,95	1,26	7,6	29,4	3,67	1,12	0,53	5,04	7,05	6,47
	Témoin	0,88	0,51	0,61	8,3	24,9	2,49	0,84	0,28	3,42	6,72	5,73
3	Sous *F. albida*	2,67	1,55	1,82	8,7	14,0	9,97	3,90	0,73	14,87	5,92	5,20
	Témoin	2,39	1,39	1,27	11,1	10,6	8,90	3,88	0,43	13,70	5,80	4,93
4	Sous *F. albida*	1,63	0,95	1,17	8,1	8,3	5,17	2,30	0,58	8,08	6,08	5,28
	Témoin	1,59	0,72	0,91	7,9	6,1	4,57	2,25	0,27	7,13	5,98	5,00

HORIZON 0-40 cm

2	Sous *F. albida*	0,79	0,46	0,77	6,0	9,1	3,11	1,04	0,83	4,54	7,00	6,35
	Témoin	0,58	0,34	0,50	6,8	10,6	3,65	0,81	0,29	4,65	7,35	7,00
3	Sous *F. albida*	2,24	1,30	1,16	11,2	10,6	11,26	4,24	0,42	16,00	5,86	4,97
	Témoin	2,16	1,26	1,24	10,3	6,6	10,24	4,48	0,27	15,20	5,75	4,85
4	Sous *F. albida*	1,16	0,67	0,87	7,7	5,8	4,88	2,25	0,57	7,66	6,24	5,20
	Témoin	0,88	0,51	0,72	7,2	6,3	4,62	2,01	0,62	7,38	6,43	5,65

Chaque échantillon sous *Faidherbia albida* comprend quatre prélèvements : Est, Ouest, Nord et Sud.
Chaque échantillon-témoin comprend deux prélèvements réalisés hors couvert, à au moins 15 m de tout arbre.
meq : milli-équivalents pour 100 g de sol.

Sarclage du sorgho dans un jeune parc à faidherbia.

tent un pH plus bas que ceux des hauts de versant proches de la neutralité.

Dans l'ensemble, les complexes absorbants sont relativement bien pourvus, hormis de faibles quantités de manganèse échangeable.

- **...Mais une richesse toujours plus élevée sous le houppier des *Faidherbia albida***

Enfin, l'analyse comparative sous et hors *Faidherbia albida* montre, dans tous les cas, que la présence de l'arbre améliore le pH (cf. fig. 1) et la fertilité des sols :

• En matière organique : forte amélioration pour les parcs 1 et 2, respectivement + 45 % et + 85 % et, dans de mêmes proportions, pour le carbone organique.

• En azote total (cf. fig. 2) : augmentation de 15 %, 107 %, 43 % et 29 % pour les parcs 1, 2, 3, et 4.

• En phosphore assimilable : augmentation de 20 %, 18 %, 32 %, et 36 % pour les parcs 1, 2, 3 et 4.

• En potassium échangeable (cf. fig. 3, p. 148) : augmentation de 78 %, 89 %, 70 % et 115 % pour les parcs 1, 2, 3, 4, dans l'horizon de surface.

Ces augmentations se retrouvent quelquefois dans l'horizon sous-jacent (20-40 cm), ce qui correspond

FIGURE 1

Effet des arbres sur le pH (KCl), horizon 0-20 cm.

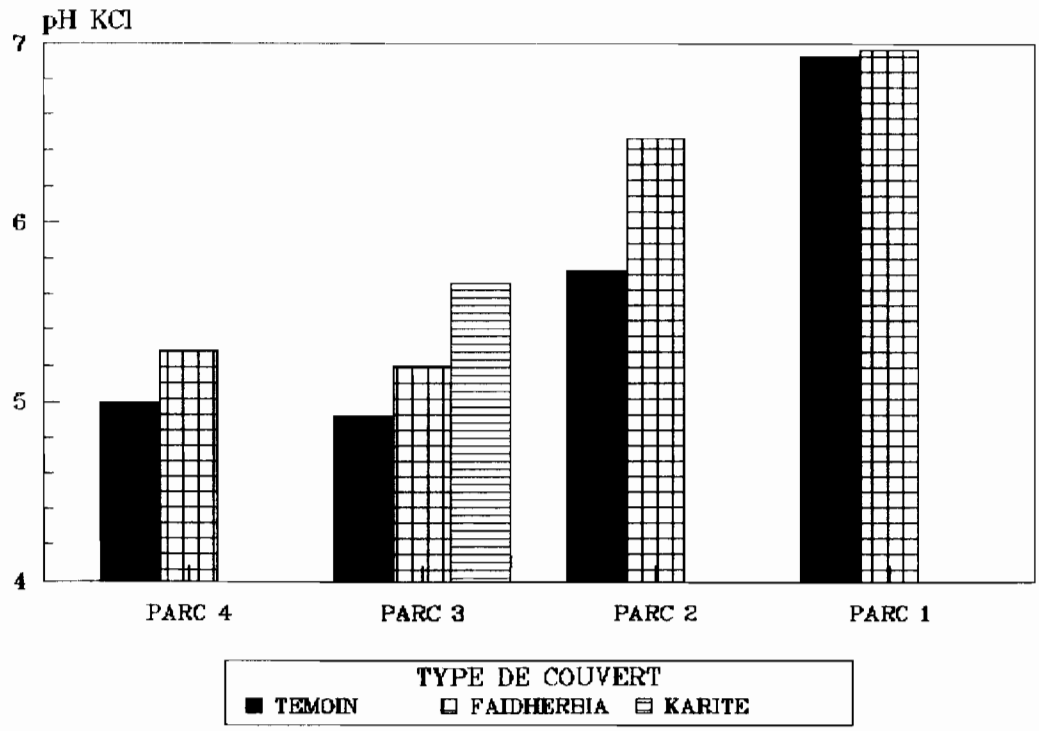


FIGURE 2

Effet des arbres sur la teneur du sol en azote total, horizon 0-20 cm.

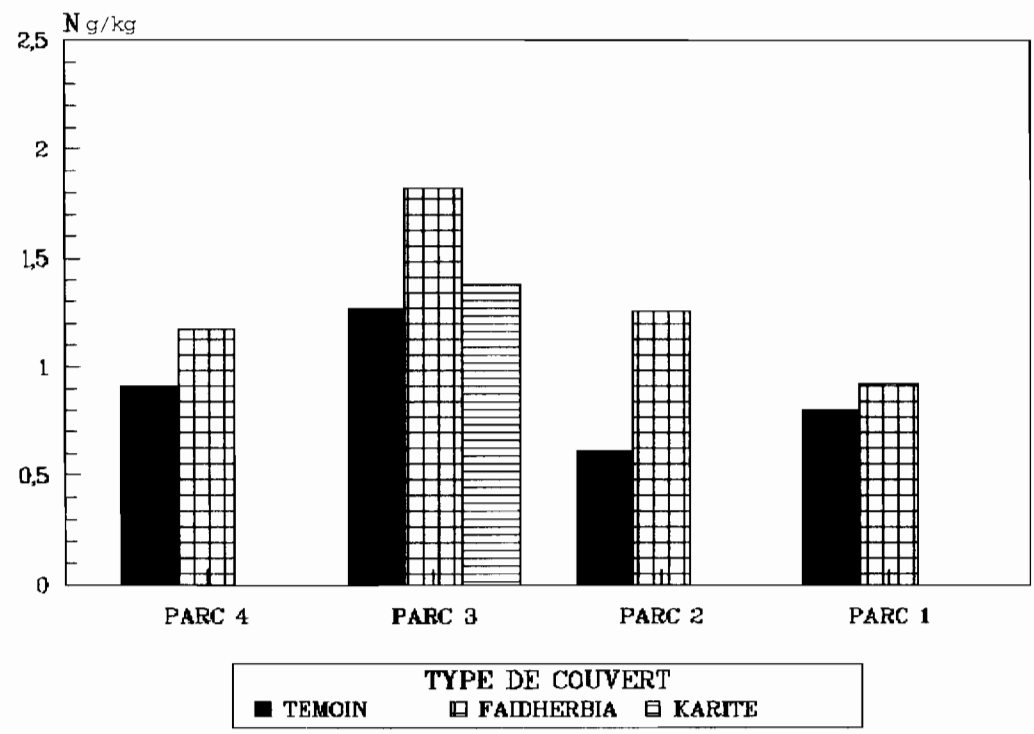
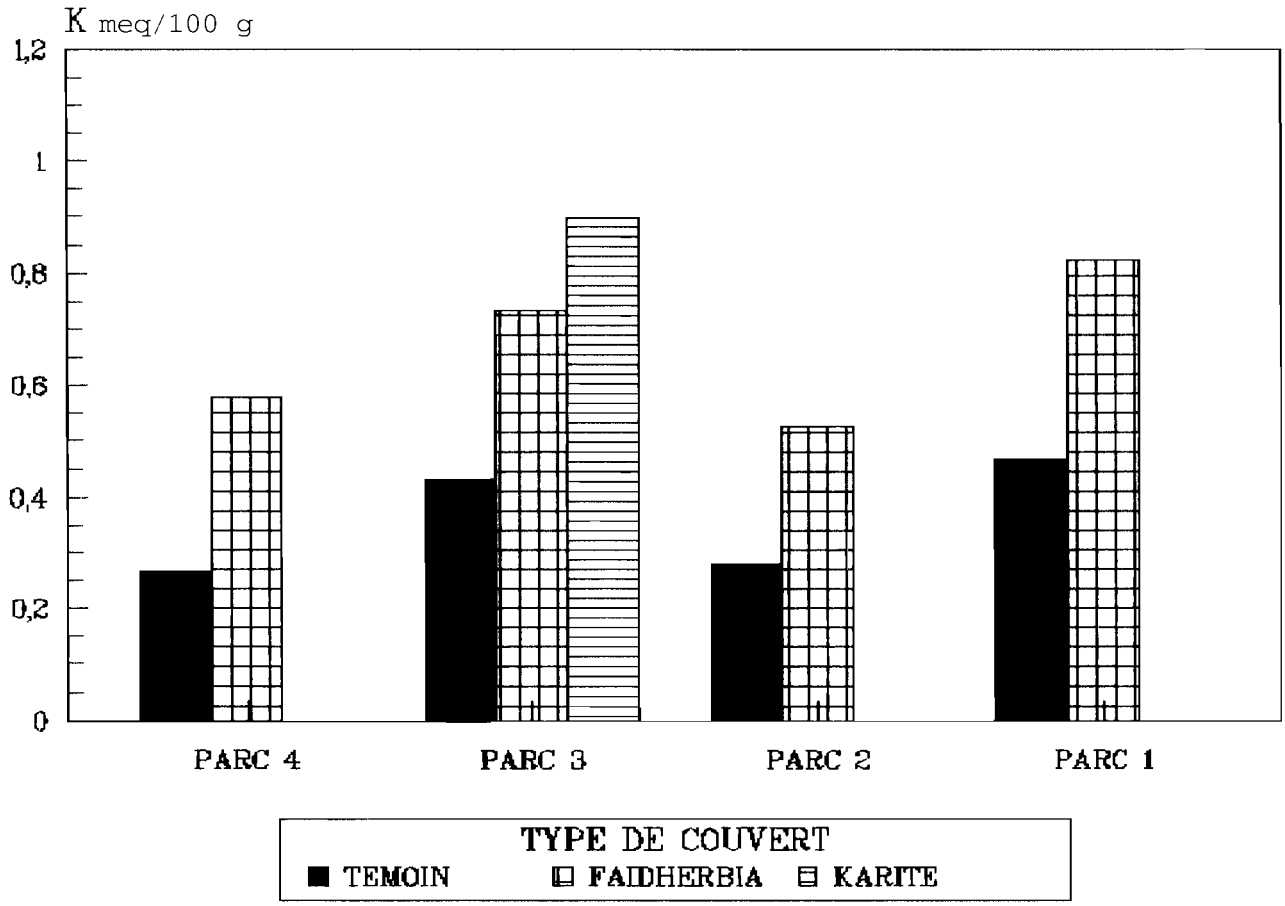


FIGURE 3

Effet des arbres sur la teneur du sol en potassium échangeable, horizon 0-20 cm.



certainement à la décomposition et/ou au lessivage de la litière des arbres *.

CARACTÉRISTIQUES AGRONOMIQUES DU SORGHO

• Les paramètres de production du sorgho sont très variables

Le tableau IV présente les valeurs moyennes et individuelles obtenues pour chaque parc des placeaux sous *Faidherbia albida* et placeaux-témoins. De la même façon qu'apparaissent, pour l'analyse pédologique, deux niveaux de différence :

• Le rendement, le nombre d'épis par hectare et le poids de 1 000 grains sont supérieurs dans le parc 1, de haut de versant, à ceux des parcs 3 et 4 de bas fond, indépendamment de l'effet *Faidherbia albida.*

• Entre placeaux sous *Faidherbia albida* et placeaux-témoins : effet améliorateur important de *Faidherbia albida* sur les rendements pour les trois parcs avec cependant de fortes variations intra-parc souvent plus importantes sous arbre qu'en dehors.

• L'effet positif de *Faidherbia albida* sur le nombre de tiges et d'épis par hectare est très sensible sur sol pauvre

Pour les parcs 3 et 4 de bas-fond, les valeurs moyennes sont peu différentes d'un parc à l'autre, sous et en dehors du houppier de *Faidherbia albida.* Par contre, une forte augmentation de ces valeurs est enregistrée dans le parc 1 sous *Faidherbia albida.*

* Ndlr. Dans certains cas, on ne peut pas écarter la théorie de VAN DEN BELDT, qui estime que la fertilité précède souvent l'installation de *Faidherbia albida* (cf. article, p. 217).

TABLEAU IV
Valeurs moyennes par parc des caractéristiques agronomiques du sorgho sous *Faidherbia albida* et sur placeaux-témoins à Watinoma - saison 1990

VALEURS MOYENNES

Parcelle et traitement	Nombre de tiges/ha	Nombre d'épis/ha	Poids total/ha (kg)	Poids des tiges/ha (kg)	Poids des épis/ha (kg)	Poids de grains/ha (kg)	Poids de 1 000 grains (g)	Poids des grains/épi (g)	Poids moyen d'un épi (g)	Rendement au battage (%)
1 : Témoin	14 267 (± 4 695)	6 390 (± 1 977)	2 060 (± 461)	1 538 (± 542)	522 (± 181)	197 (± 70)	15,3 (± 0,6)	30,6 (± 13,8)	81,8 (± 46,6)	44,6 (± 33)
1 : sous *F. albida*	20 877 (± 7 058)	11 943 (± 2 913)	3 356 (± 1 035)	2 607 (± 984)	749 (± 176)	529 (± 186)	15,3 (± 0,6)	43,6 (± 4,7)	62,8 (± 1,3)	69,5 (± 8,6)
3 : Témoin	19 140 (± 4 295)	16 201 (± 4 227)	3 539 (± 992)	2 717 (± 825)	821 (± 215)	671 (± 163)	24,5 (± 0,9)	42,1 (± 7,7)	51,6 (± 10,4)	82,1 (± 3,9)
3 : sous *F. albida*	20 309 (± 4 578)	16 203 (± 3 545)	5 940 (± 1 298)	3 855 (± 449)	2 085 (± 1 033)	1 674 (± 800)	24,5 (± 0,9)	110,4 (± 72,4)	137,9 (± 92,6)	82 (± 11,7)
4 : Témoin	20 680 (± 6 256)	15 676 (± 2 819)	3 377 (± 416)	2 207 (± 380)	1 170 (± 380)	898 (± 371)	24 (0)	58,4 (± 25,1)	75,9 (± 27,1)	75,8 (± 12)
4 : sous *F. albida*	18 488 (± 4 924)	14 472 (± 3 298)	6 706 (± 1 559)	4 356 (± 1 409)	2 350 (± 725)	1797 (± 669)	24,2 (0,4)	134,8 (± 69,3)	173,6 (±73,5)	75,4 (± 8,7)

Sous *F. albida* : placeau sous houppier de *Faidherbia albida.*
3,8 et 5 placeaux par traitement pour les parcs 1,3 et 4.
Témoins : à 15 m de tout arbre.
Toutes moyennes assorties d'écart-types.

VARIATIONS SOUS *F. ALBIDA* / TÉMOIN (%)

Parc 1	+ 46	+ 72	+ 63	+ 70	+43	+ 169*	0	+ 48	– 23	+ 56
Parc 3	+ 6	0	+ 68*	+ 42*	+ 154*	+ 332*	0	+ 162*	+ 167	0
Parc 4	– 11	–8	+ 99*	+ 97*	+101*	+ 100*	0	+ 131*	+ 128*	0

* Différence significative pour les valeurs moyennes comparées au seuil de 5 %.

Coupe et séchage du sorgho.

Par ailleurs, le ratio nombre d'épis/nombre de tiges, faible dans le parc 1 (49 à 57 %), meilleur dans les parcs 3 et 4 de bas-fonds (76 à 85 %), est sans variation notable entre placeaux-témoins et sous *Faidherbia albida.*

- **Cette amélioration est plus générale pour les productions en tiges et en grains**

Concernant les productions en tiges et en grains, on constate les résultats suivants :

• Poids totaux, poids des tiges, poids des épis et poids des grains

Ces poids moyens, rapportés à l'hectare, montrent tous des différences significatives dans les parcs 3 et 4, à l'avantage des placeaux sous *Faidherbia albida.* L'effet est particulièrement marqué dans le parc 3 où l'amélioration du rendement en grains atteint 149 %. Dans le parc 1 pour lequel un échantillonnage suffi-

sant n'a pu être réalisé, si ces tendances améliora-trices existent, seul le rendement en grains est significativement supérieur pour les placeaux sous *Faidherbia albida* : 529 kg contre 197 kg/ha placeaux-témoins.

• Poids moyen du total de grains par épi et poids moyen d'un épi

Les valeurs moyennes de ces deux variables font également ressortir l'effet améliorateur de l'arbre, les différences n'étant significatives que pour les parcs 3 et 4 dans les mêmes proportions.

• Poids de 1 000 grains, rendement au battage

Peu ou pas d'effet de *Faidherbia albida* sur ces variables, les différences se situant entre parcs de bas-fonds et parc 1, de haut de versant, dont le rendement au battage est très faible sur deux placeaux-témoins.

Enfin il existe une assez bonne corrélation entre l'augmentation des rendements en grains sous *Faidherbia albida* et celle du diamètre des arbres. Une relation analogue ne peut être établie pour le parc 1 ne contenant que trois placeaux.

De même que l'échantillonnage des arbres réalisé pour l'analyse pédologique est différent de celui effectué pour les mesures de rendement du sorgho, aucune corrélation ne peut être établie entre caractéristiques des sols et rendements sous *Faidherbia albida*.

DISCUSSION

• **L'effet améliorateur de *Faidherbia albida* sur la production de sorgho est si net...**

Les résultats obtenus à Watinoma concernant l'effet de *Faidherbia albida* sur le rendement du sorgho confirment ceux mesurés au Burkina Faso dans d'autres endroits et dans des conditions comparables.

Toutefois, les très fortes augmentations réalisées ici entre placettes-témoins et placettes sous houppier de *Faidherbia albida* sont deux à trois fois supérieures à celles enregistrées dans la littérature scientifique. Ainsi, dans le Yatenga (GERES-C.T.F.T., 1965), l'augmentation du rendement en mil passe-t-il de 78 % sur latérite à 64 % en bas de pente, mais à 18 % seulement en bas-fond. Dans le Bazèga, A. MAIGA (1987) obtient une amélioration sous houppier de *Faidherbia albida* de 75 % pour le mil et 45 % pour le sorgho.

Récolte des tiges de sorgho pour utilisation fourragère.

La différence de résultats peut-être explicitée par la position des placettes sous houppier. Celles-ci d'une surface de ± 20 m^2, en fonction du diamètre du tronc, se situent à proximité immédiate du tronc. Elles couvrent de la moitié à un tiers du rayon du houppier des arbres dans les parcs 1 et les parcs 3 et 4.

En se référant aux travaux de D. LOUPPE (1989), l'accroissement moyen au rendement en grains serait maximal dans la zone proche du tronc (25 m^2), décroissant progressivement jusqu'en limite de houppier.

L'effet améliorateur serait encore perceptible à quelques mètres au-delà du houppier, compensant la diminution du rendement en limite interne du houppier. Cependant, le résultat inverse est obtenu sur mil et sorgho par A. MAIGA au Burkina Faso (1987) : le pic de rendement se situerait sous houppier dans la zone la plus éloignée du tronc.

• **...Qu'il est sensible même si le nombre d'arbres à l'hectare est peu élevé...**

Pour le cas de Watinoma, en rapportant (de façon théorique) le gain de rendement à la surface totale des

houppiers de *Faidherbia albida*, l'amélioration serait de :

- 11 % dans le parc 1 (houppier couvrant 6,4 % du sol) ;
- 14 % dans le parc 3 (houppier couvrant 9,8 %) ;
- 17 % dans le parc 4 (houppier couvrant 16,5 %).

Parmi ces gains loin d'être négligeables, le parc 3, en bordure de bas-fond, réalise le meilleur rapport amélioration de rendement/densité de *Faidherbia albida*. Ce parc compte le plus d'arbres adultes, en pleine productivité de biomasse, et surtout apparaît comme le moins touché par l'émondage.

- **...Sur sol pauvre...**

Bien que les différences ne soient pas significatives, l'effet de *Faidherbia albida* sur le rendement des cultures est plus marqué en parc 1 — au sol chimiquement le plus pauvre et à faible rétention d'eau — qu'en parcs 3 et 4, tendance confirmant des résultats précédents dans le Yatenga (GERES-C.T.F.T.).

- **...Et certainement à l'occasion d'années sèches...**

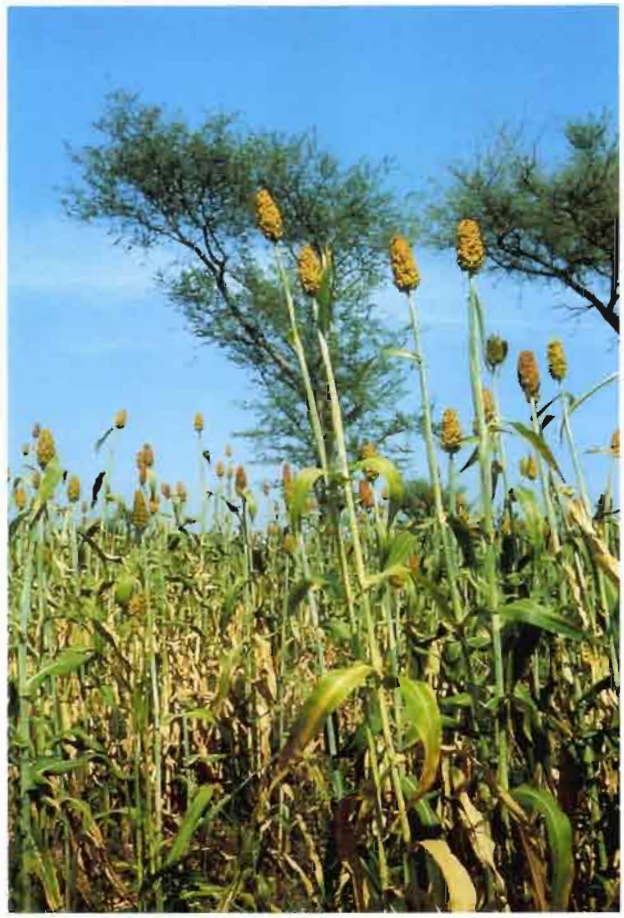
L'effet du stress hydrique, résultant du déficit pluviométrique 1990, apparaît dans le parc 1, considérablement réduit sous *Faidherbia albida* (529 kg grains contre 197 kg sur témoins). Ceci correspondrait à une meilleure humidité relative sous houppier avec baisse de l'ETP (réduction des besoins en eau de la culture) mais aussi à une réduction des maxima thermiques, de l'humidité du sol et d'une pluviométrie augmentée sous houppier (interception des pluies obliques) ainsi qu'il ressort de l'étude de C. DANCETTE et J.-F. POULAIN (1968).

A ce propos, il est intéressant de relever la différence portant sur les nombres de tiges et d'épis entre placeaux sous *Faidherbia albida* et témoins du parc 1 alors qu'aucun écart similaire n'est observable dans les parcs 3 et 4 de bas-fonds.

- **...C'est pourquoi les parcs à *Faidherbia albida* limitent les risques de déficit vivrier**

L'influence de l'arbre, particulièrement spectaculaire sur le développement du sorgho en situation pédoclimatique critique (sécheresses et carences de fertilité étant fréquentes en zone sahélienne) justifie pleinement l'intérêt et le développement des parcs à *Faidherbia albida*. Un mode de gestion approprié en fonction de la régénération relativement abondante (densification du parc), des besoins agronomiques (maintien de la fertilité des sols) et pastoraux (fourrage) reste à définir à Watinoma sur la base de recherches ultérieures devant préciser dans le temps le comportement et les effets de l'arbre sur l'interface sol-cultures. ■

Remerciements : *Les auteurs tiennent à remercier les collègues burkinabés de l'IRBET et du programme CES/AGF, qui ont participé à ces travaux, et les agriculteurs de Watinoma d'avoir accepté les contraintes de cette étude avec beaucoup de gentillesse.*



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BONKOUNGOU (E.G.), 1987. — Monographie de *Acacia albida* Del., espèce agroforestière à usages multiples. Ouagadougou, Burkina Faso, IRBET/CNRST, 92 p.

CHARREAU (C.), VIDAL (P.), 1965. — Influence de l'*Acacia albida* Del. sur le sol, nutrition minérale et rendements des mils *Pennisetum* au Sénégal. L'agronomie tropicale, n° 6-7 : 598-625.

DANCETTE (C.), POULAIN (J.F.), 1968. — Influence de l'*Acacia albida* sur les facteurs pédo-climatiques et les rendements des cultures. Sol Africain, vol. 13 (3) : 197-239.

GERES-C.T.F.T., 1965. — Secteur de restauration des sols de Ouahigouya. Le *Faidherbia albida.* Nogent-sur-Marne, France, CTFT, 35 p.

JANODET (E.), 1990. — Les parcs à *Faidherbia albida* sur le terroir de Watinoma (Burkina Faso) Diagnostic préliminaire à la mise en place d'expérimentation. Mémoire de DEA. Paris, France, ENGREF/Paris VI, 70 p.

JUNG (G.). — Influence de l'*Acacia albida* Del. sur la biologie des sols Dior. Dakar, Sénégal, ORSTOM, 66 p.

LOUPPE (D.), 1990. — Influence de *Faidherbia albida* sur les rendements agricoles au Sénégal. Dakar, Sénégal, DRPF-ISRA, 13 p.

LOUPPE (D.), 1989. — Influence de *Faidherbia albida* sur les rendements agricoles. Nouvelle Contribution. Com. au colloque ISD Forêt Environnement et Développement. Dakar, Sénégal, DRPF-ISRA, 18 p.

MAIGA (A.), 1987. — L'arbre dans les systèmes agroforestiers traditionnels dans la province du Bazéga. Influence du karité, du néré et de l'*Acacia albida* sur le sorgho et le mil. Mémoire IDR. Ouagadougou, Burkina Faso, IRBET/CNRST, 83 p.

OUEDRAOGO (J.S.), 1990. — Situation et dynamique des parcs agroforestiers de Watinoma en 1990. Province du Bam Burkina Faso, Mémoire de DEA. Paris, France, ORSTOM/Paris VI, 57 p.

PAGEARD (R.), 1971. — Note sur l'*Acacia albida* (*Faidherbia albida*) en Haute-Volta, Notes et Documents Voltaiques, 4 (4), p. 50-59.

R. OLIVER
CIRAD-CA
BP 5035
34032 Montpellier CEDEX 1
(France)

D. DEPOMMIER
IRBET
01 BP 1759
Ouagadougou (Burkina Faso)

E. JANODET
Université Paris VI
(France)

Crédits photos D DEPOMMIER, R PELTIER, C TRIBOULET

RÉSUMÉ

Sur le terroir sahélien de Watinoma, une étude a été lancée pour comparer la production de sorgho sous et hors houppier de *Faidherbia albida*, dans quatre parcs aux conditions pédologiques contrastées.

Ce travail a été effectué en 1990, année dont la pluviométrie était légèrement déficitaire (547 mm contre 608 mm en moyenne) :

• Les mesures pédologiques ont été réalisées sous douze arbres (4 prélèvements par arbre) et dans autant de situations témoins (2 prélèvements par témoin).

• Les mesures agronomiques ont été faites sur chacun des quatre parcs pour 10 placettes sous houppier de 20 m^2 environ et pour dix placettes hors houppier de 33,2 m^2, mais un certain nombre d'entre elles ont dû être abandonnées pour diverses raisons.

En raison du colluvionnement, le sol de haut de versant s'est révélé beaucoup plus pauvre que celui de bas de pente mais, dans tous les cas, la plupart des caractéristiques chimiques sont meilleures sous houppier.

Egalement sous *Faidherbia albida*, on trouve en général une amélioration des caractéristiques agronomiques du sorgho, en particulier pour le nombre et le poids des tiges et des épis rapportés à l'hectare. L'effet améliorateur de *Faidherbia albida* sur la production de sorgho semble si net qu'il est important même si la densité des arbres est faible (10 % de recouvrement par les houppiers) mais cet effet est plus sensible sur sol pauvre.

Mots-clés : *Faidherbia albida. Sorghum bicolor.* Fertilité du sol. Sahel.

ABSTRACT

A survey was embarked upon in the Sahelian zone of Watinoma to compare sorghum production beneath and outside (control) *Faidherbia albida* canopies, in four parklands with markedly different soil conditions.

This study was carried out in 1990, a year with slightly less than average rainfall (547 mm as opposed to 608 mm on average) :

• The pedological measurements were carried out under 12 trees (4 samplings per tree) and in 12 control situations (2 samplings per control plot).

• The agronomic measurements were carried out in each of the four parklands on ten sample plots (measuring around 20 sq.m) beneath the canopy and ten sample plots (measuring 33.2 sq.m) outside the canopy but some of these had to be abandoned for various reasons.

Because of colluviation, the soil at the top of the slope was shown to be much poorer than that at the bottom of the slope, but in every instance most chemical characteristics were better under the canopy.

Under *Faidherbia albida,* likewise, there is a general improvement of the agronomic characteristics of sorghum, particularly with regard to the number and weight of stems and ears per hectare. The enhancing effects of *Faidherbia albida* on sorghum production seems to be so marked that it is significant even if there is low tree density (10 % of cover by canopies), but this effect is more appreciable in poor soil.

Key words : *Faidherbia albida. Sorghum bicolor.* Soil fertility. Sahel.

FAIDHERBIA ALBIDA ÉLÉMENT DÉCRYPTEUR D'AGROSYSTÈMES

L'exemple du Nord-Cameroun

par Christian SEIGNOBOS, géographe, ORSTOM

Le parc à faidherbia dans les monts Mandara.

La genèse de la reproduction de *Faidherbia albida* en parc fait de lui un parangon de végétation anthropique. Néanmoins, s'il est intégré dans certains agrosystèmes, voire promu dans d'autres, il peut n'apparaître ailleurs qu'en appoint ou même être totalement absent (1) *.

Afin d'expliquer ces différences, une étude sociologique, historique et géographique a été entreprise.

Pour ce faire, l'auteur a pratiqué de très nombreux entretiens informels avec des chefs de villages, des chefs de terres, des agriculteurs et des éleveurs, jeunes ou vieux, hommes et femmes.

Il en retire une riche moisson d'informations sur les intérêts et les inconvénients de *Faidherbia albida* tels qu'ils sont perçus par les différentes composantes de la société nord-camerounaise.

Grâce à des levés de terroir, il peut décrire plusieurs types de parcs liés à des systèmes agraires, à des ethnies et à des zones écologiques différentes ; il peut également préciser leur dynamique et envisager comment la recherche et l'administration accompagnent ces évolutions.

Cet article complète donc plusieurs études scientifiques présentées dans cet ouvrage, montre que les connaissances empiriques des ruraux confirment souvent les résultats des recherches et peuvent les orienter sur des pistes encore insuffisamment explorées.

* Les chiffres entre parenthèses renvoient aux notes p. 170.

PERFORMANCES ET LIMITES DE *FAIDHERBIA ALBIDA* : LE POINT DE VUE DES AGRICULTEURS

- **Avantages indiscutables de l'association *Faidherbia albida*/ élevage/culture de saison chaude et humide**

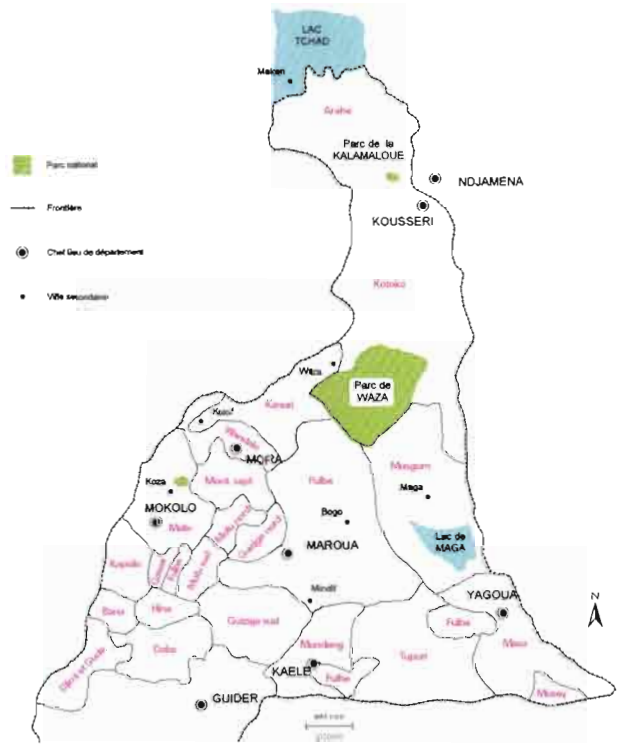
Une série d'enquêtes a permis de recueillir l'avis des agriculteurs de différentes ethnies sur *Faidherbia albida*. Les réponses les plus caractéristiques sont données ci-dessous.

En raison de son cycle phénologique inversé en matière de feuillaison, il laisse passer la lumière et la pluie pendant l'hivernage et joue un rôle de coupevent durant la saison sèche. Sa litière enrichit le sol en même temps que son couvert et la chute des gousses attire le bétail. Ces avis sont d'ailleurs confirmés par LIBERT, 1990 (2) et LOUPPE, 1990 (3) ; la jachère peut également être supprimée. *Striga hermonthica* n'apparaît qu'à l'extérieur de la projection au sol du houppier, ce que les Peuls du Diamaré énoncent ainsi : « Duli nangata gawri nder caski* », « le sorgho n'est pas parasité par le striga sous *Faidherbia albida* ». A une distance supérieure au rayon moyen du couvert, certaines maladies du sorgho seraient inconnues ou atténuées, comme mbuumaari, le charbon ; ce qui demanderait à être démontré.

Les Peuls ** et Foulbéïsés du Diamaré prêtent au *Faidherbia albida* une autre faculté, celle de pompe à eau : « *caski foodan ndyam less* », « *Faiherbia albida* tire l'eau de la terre ». Ainsi les gros *Faidherbia albida,* de plus de 30 ans, doivent-ils être épargnés ; il est interdit, en effet, de les abattre, parfois même de les ébrancher. Ce veto traduit une prise en compte par les communautés villageoises de « l'effet parc » qui permet un « écrêtement des maxima et des minima de température » (*Faidherbia albida,* monographie C.T.F.T., 1988, p. 66), assurant une réduction de l'évapotranspiration (4).

Le fourrage et les gousses de *Faidherbia albida* constituent pour le bétail un moyen de « faire la soudure », mais ils apportent aussi le complément azoté nécessaire aux fourrages graminéens secs, que ne remplace pas la consommation des fanes d'arachides et des tiges de mil.

Le vecteur de la diffusion de *Faidherbia albida* demeure le bovin. Certains informateurs citent également les petits ruminants comme vecteurs secondaires, mais la plupart s'accordent à dire « qu'ils broient les graines et que même entières elles restent dures » (5). Seule la pulpe des gousses relativement peu chargée en tanin est partiellement digérée ; les graines ne le sont pas à cause de leurs épais tégu-



Extrême Nord-Cameroun : localisation des ethnies.
D'après une carte de la revue « Colloques et séminaires ».

ments ; on les retrouve intactes dans les fèces des bovins. Toutefois, leur cuticule cireuse étant préalablement attaquée par le suc digestif, les graines germeront plus facilement.

Les *Faidherbia albida* buissonnants se multiplient sur les pistes à bétail et même sur des Hardé, sols halomorphes impropres à la culture, choisis comme lieux de stationnement du cheptel. Cette propagation est bien connue et les communautés villageoises (Peuls du mayo Tsanaga), qui pratiquent la jachère à

* Caski : *Faidherbia albida* en fulfuldé.
** Ndlr. On trouvera dans cet article, pour désigner ce groupe ethnique, le mot francisé « Peul ». Au pluriel, on dira soit les Peuls, soit les FulBe (écriture des linguistes). Les Foulbeïsés désignent les groupes assimilés culturellement par les FulBe.

Faidherbia albida buissonnants, s'interdisent de piler ses gousses afin d'en préserver les graines et de ne pas entraver ce type de construction arborée basse, dense et limitée dans le temps.

Faidherbia albida se dégage mal de son port buissonnant * ; il a besoin du concours de l'homme, qui le taille à l'herminette pour dégager rapidement une cime. L'homme qui autorise ainsi sa croissance choisit ses repousses, prend les plus vigoureuses et régule ainsi sa densité sur les champs. Un parc de *Faidherbia albida* est, à l'opposé d'un faciès végétal, une construction consciente de communautés rurales disposant d'un élevage sédentaire et qui, pour des raisons historiques ou des contraintes écologiques, capitalisent de fortes densités sur un espace agraire bien circonscrit.

- **Alors, pourquoi ne pas avoir diffusé plus largement *Faidherbia albida* ?**

Au vu de l'énoncé des qualités de cet arbre, qui touchent à toutes les variables de la fertilité, on peut être surpris de ne pas voir plus de parcs et sur de plus grandes surfaces. Mieux, l'aspect de certains parcs, leurs densités médiocres, leurs « pyramides des âges » déséquilibrées, leur abandon parfois, poussent à s'interroger sur le rôle que les populations leur attribuent dans l'agrosystème.

Faidherbia albida est le reflet non seulement de préoccupations agronomiques mais, au-delà, d'un mode de vie avec l'arbre lié au droit de la terre, à l'encadrement politique, aux densités de peuplement, à la présence d'un cheptel, à la nature de sa circulation dans le terroir...

Du seul point de vue agronomique, l'intérêt de l'arbre connaît des limites. En permettant de se dispenser de jachère, un parc de *Faidherbia albida* autorise une agriculture intensive, ce qui n'est pas forcément recherché par les communautés villageoises. Il interviendra généralement à partir de certains seuils de peuplement, ce qui explique que nombre de groupes bâtisseurs de parcs à *Faidherbia albida*, émigrés dans des zones peu peuplées, ne reproduisent pas le modèle de paysage arboré de départ. Un changement d'assiette du terroir, vers des cultures de bas-fonds par exemple, l'orientation prioritaire d'une gamme de sorghos à cycle court vers une série à cycle long, et l'intérêt de *Faidherbia albida* peut être remis en question, figeant le développement du parc.

Faidherbia albida, enfin, est au service de certaines cultures, les sorghos, les petits mils et le coton mais il peut, en revanche, en desservir d'autres, principalement des productions souterraines, arachides (6) et pois de terre, légumineuses ayant moins besoin d'azote.

- **Un ombrage gênant en saison fraîche et sèche**

Quelques opinions sont d'ailleurs franchement défavorables pour *Faidherbia albida* :

• Dans la région de Mogom, sur les bords du mayo Bula, les cultures de contre-saison (planches d'oignons et de légumes divers) sont en pleine expansion. Les jardins sont mis en place sur les champs de sorghos rouges ou de coton dès la fin de la récolte. Les *Faidherbia albida* deviennent alors indésirables **. On les étête complètement, parfois on les abat, les feuilles

Faidherbia complètement étêté près de Maroua, Cameroun.

* Ndlr. Cette opinion des agriculteurs se trouve dans de nombreuses publications. Or, en plantations protégées, *Faidherbia albida* a un port d'arbre et non de buisson. Par contre, il est vrai qu'en milieu rural les jeunes semis ou drageons sont systématiquement broutés par le bétail. Sur la base des tiges broutées se développent des rejets qui forment, au bout de quelques années, une véritable touffe épineuse. Pendant ce temps, le système racinaire atteint la nappe et se développe. A ce moment-là, si l'on sélectionne un seul rejet, celui-ci peut avoir à sa disposition une bonne quantité de sève et pousse très rapidement. En quelques mois, il se met ainsi à l'abri de la dent du bétail.

** Ndlr. Les cultures de saison fraîche et sèche (contre-saison) sont incompatibles avec la présence de l'arbre qui est, à cette période, en pleine feuillaison. De la même façon, en Inde du nord, l'extension de la culture de blé d'hiver, entraîne une destruction des arbres de parc (*Acacia nilotica*...) autrefois associés aux cultures d'été (maïs, coton...).

sont données au petit bétail et les émondes complètent les zéribas qui clôturent les jardins.

• Sur les piémonts des collines de roches vertes de Mogazan, au nord de Maroua, *Faidherbia albida* occupe les piémonts immédiats, près des anciens sites d'habitat. L'arbre est ensuite absent sur une toposéquence qui appartient à la série des vertisols. Ces zones peuvent, si la pluviométrie le permet et grâce à un carroyage de diguettes, porter des sorghos repiqués de saison sèche ; actuellement leur mise en valeur passe par une rotation sorghos rouges/coton. Mais on ne ferait pas démarrer un parc, en dépit de l'abondance des rejets de *Faidherbia albida,* pour conserver la possibilité de cultiver des sorghos repiqués. Ainsi, sur un certain nombre de sols ubiquistes qui permettent des cultures désaisonnées, *Faidherbia albida* n'est-il pas le bienvenu, même si ce choix n'est parfois que potentiel.

- **Lorsqu'un parc n'est pas souhaité, *Faidherbia albida* peut présenter un intérêt en jachère**

Un traitement particulier est quelquefois adopté pour se dispenser de la présence d'un parc. Une jachère à *Faidherbia albida* a ainsi été générée par des Peuls ou des Habe (Muyang, Mada...). Cette jachère d'appui agronomique, généralement en marge des parcs (7), fait se couvrir les champs d'une composition arbustive volontairement contractée, parfois extrêmement dense, de *Faidherbia albida.* La régénération commence dès la croissance du mil ou du coton. De nombreux rejets sont émis au niveau du collet et se multiplient l'année suivante, car *Faidherbia albida* « est une essence qui rejette très bien de souche » (*Faidherbia albida,* Monographie C.T.F.T., 1988, p. 28). Les racines pivotantes de *Faidherbia albida,* même tranchées plus profondément par le soc des charrues, rejettent ensuite, de plus en plus vigoureusement, au fur et à mesure qu'elles se renforcent. Ces jachères sont souvent quasi monospécifiques, à l'exception de quelques *Ziziphus mauritiana* et *Piliostigma reticulatum.* Elles sont fort visitées par le petit bétail pendant la saison sèche, et ce d'autant plus qu'elles sont proches du village.

A Gawel, Balaza Lamido, Digir... la jachère à *Faidherbia albida* peut durer deux à trois ans, puis c'est la reprise pendant quatre ans d'une rotation coton/sorghos rouges. Le gain est de un à deux ans sur les autres jachères à *Ziziphus mauritiana* ou à composition plus complexe.

- **Lorsque le recrû n'est plus maîtrisable, un seul recours : laisser pousser quelques faidherbias pour constituer un parc**

Ces jachères à *Faidherbia albida* buissonnants sont toutefois rarement voulues et le plus souvent subies (région de Mémé et Dogba). Le départ de brins très vivaces, à partir de racines pivotantes ou traçantes renforcées par les labours successifs, opère dès les récoltes de mil ou de coton.

Il faut alors pratiquer un véritable défrichage au début de la saison des pluies. Ainsi, le façonnage d'un parc semble-t-il être pour les paysans la seule solution pour refouler et faire disparaître ce recrû indésirable. On se trouve alors en présence de parcs à *Faidherbia albida* représentant un moindre mal par défaut.

- **De nombreux interdits traditionnels protègent les arbres contre leur destruction**

Les disciplines agraires ne sont pas couvertes par un discours à contenu agronomique, mais elles s'expriment à travers des interdits assortis de sanctions qu'encourent ceux qui abattent *Faidherbia albida* ou, de façon détournée, ceux qui utilisent son bois. Les agropasteurs Tupuri de Catibali le formulent radicalement : « abattre un *Faidherbia albida* provoque la mort d'un jeune homme dans le village. »

Les FulBe et les Foulbéïsés, héritant en cela des réflexes de populations antérieures conquises (Zumaya, Giziga Bi Marva...), interdisent dans la plupart des villages de brûler le bois de caski (pl.casDe). Transgresser cette interdiction provoquerait chez le contrevenant une sorte d'enflure de certaines partie du corps, notamment du visage et des yeux, appelée caayoori (8) ; couper de vieux spécimens entraînerait la folie et seule la récupération du bois d'arbres de case morts sur pied était parfois tolérée.

Les Arabes Showa craignent également de brûler *Faidherbia albida* dont le bois ne peut servir à enfumer le bétail. Les Mandara de la région de Mémé pensent que sa fumée peut donner la tuberculose ou une toux persistante.

Les Bornouans de la région de Dulo n'approchent pas d'un feu alimenté avec du bois de *Faidherbia albida.* L'explication est proche de celle entendue au Bagirmi (Tchad) : « C'est un arbre qui n'a pas de bénédiction sur lui (maléfique donc), car il ne se nourrit pas de la même eau que les autres » ; son cycle inversé le rend suspect. Si on ne nie pas son intérêt pour les cultures, il est en revanche exclu de laisser entrer ce bois dans la concession et plus encore de le brûler.

Aujourd'hui, Bornouans et Mandara l'utilisent parfois et observent « qu'il n'y a pas d'effet nocif, mais les vieux le refusent catégoriquement ». Toutefois, c'est le manque de bois qui pousse à récupérer les émondes de *Faidherbia albida,* et il est employé par défaut : « ce bois ne donne pas de braise et n'active pas le feu ». La mauvaise réputation du bois de *Faidherbia albida* se maintient alors qu'il serait en tout état de cause un bon combustible (9).

HISTORIQUE DE L'EXTENSION DU PARC MASA

Parc à faidherbia avec sous-étage de ziziphus dans le pays Masa.

- **Le parc du pays Masa combine un étage haut de *Faidherbia albida* et un sous-étage de *Ziziphus mauritiana***

Les parcs de *Faidherbia albida* les plus représentatifs sont ceux des Masa, agropasteurs des rives du Logone. Ces parcs souvent très denses coïncident exactement avec les soles de sorghos rouges, une gamme très homogène de *Sorghum caudatum* et de *Sorghum durra caudatum*, généralement hâtifs ; ils sont accompagnés d'un sous-parc, tout aussi dense, de *Ziziphus mauritiana* (jujubier) taillés en têtard. Pour favoriser une meilleure venue du sorgho, les *Faidherbia albida* sont élagués avant les pluies ; on brûle des paquets d'herbes sur les branches maîtresses de *Faidherbia albida* abattues afin d'éliminer plus rapidement la sève, et ce bois constituera la majeure partie du combustible utilisé par les femmes. Les jujubiers sont taillés pour monter les zéribas, sauf certains réservés à la fourniture de perches ; ces clôtures enserrent les champs de case coalescents et canalisent la circulation du bétail.

Ce parc bispécifique, quasi continu, longe le Logone, le mayo Guerleo et le lac de Guisey. Il s'ouvre parfois à des essences comme *Vitex doniana, Ficus sycomorus ssp. gnaphalocarpa, Bombax costatum*... Il a aussi mis sous scellés des parcs antérieurs plus localisés (rôniers, *Celtis integrifolia*, tamariniers...) signalant d'anciens sites d'occupation.

- **Le parc des Masa a intégré, sur ses marges, les parcs préexistants...**

Le groupe Masa s'est toujours montré expansionniste, voire intégrationniste à l'égard de ses voisins, aussi son parc de *Faidherbia albida* progresse-t-il hors de l'aire de peuplement proprement masa.

Sur ce dessin représentant le pays Masa Walya, on remarque le sous-étage de jujubiers taillés en « têtards » à un mètre du sol, dominé par le parc arboré composé de faidherbias, souvent accompagnés par d'autres espèces (palmier doum...).

Au nord, le parc envahit la rôneraie qu'avaient suscité les Bege, groupe tampon entre Musgum et Masa. Le rônier était auparavant privilégié dans une économie d'assiégés. Il était interdit de couper les pieds femelles. La pratique des « jardins » de drupes dans les champs de mil avait pour conséquence voulue une propagation du rônier. Ces emplacements devaient se situer hors de l'influence du houppier de *Faidherbia albida*, sous peine de voir le germe de rônier (recherché comme une nourriture de base au même titre que les sorghos rouges) se développer avec difficulté. Les Bege gèrent actuellement un parc de trois essences : *Faidherbia albida*, rôniers et jujubiers.

Au sud de l'aire de peuplement masa, les Masa Bugudum ont plus tardivement que les autres embrassé le système économique et social masa. On observe des parcs de *Faidherbia albida* plus jeunes, occupant plus irrégulièrement l'espace et se superposant vers le sud à un parc antérieur dominé par *Prosopis africana*. Ce type de parc, qui connaît son plus beau développement dans la région de Hollom, s'identifie aux Musey voisins, qui n'élevaient pas de bovins mais des poneys. La confrontation de ces deux parcs est particulièrement visuelle sur la route Gobo-Gere. Les Musey eux-mêmes, en se mettant à la culture attelée dans le canton de Gobo, ont adopté par voisinage les méthodes d'élevage masa et les pratiques socio-culturelles qu'elles véhiculent. On enregistre une timide apparition de *Faidherbia albida*, jusque-là totalement absent, aux abords de quelques villages.

Plus au sud, à cheval sur la frontière tchado-camerounaise, les Tupuri ont très vite intégré une partie de l'agrosystème masa et l'éthique qu'il servait, en faisant du bovin l'unité de dot, en empruntant les institutions de cure de lait, de prêt de bétail... Le parc de *Faidherbia albida* est ici aussi une marque du paysage.

- **...Mais l'extension du Muskuwaari a freiné la progression des parcs**

Les Tupuri sont formés d'une composante de peuplements venus du sud, cultivateurs de sorghos à cycle long, qui leur a donné la possibilité de développer une palette de céréales plus variée et surtout plus ouverte. Elle intégra facilement une première famille de sorghos repiqués, les babu, puis les muskuwaari (empruntés aux FulBe) ; les Tupuri ont ainsi pu vivifier leurs bas-fonds. Lors de leur remontée vers le nord, amorcée durant la période coloniale, leurs fronts pionniers ont suivi l'exploitation des zones d'engorgement ou d'inondation temporaire occupées par les vertisols.

Les éléments dynamiques de l'agrosystème, se déplaçant des cultures sous pluies vers celles des bas-fonds (de saison sèche) appuyées par une gamme sans cesse enrichie de muskuwaari, entraînèrent un ralentissement dans la construction de parcs de *Faidherbia albida* sur les croupes exondées, en particulier dans les zones plus récemment colonisées. Les parcs de *Faidherbia albida* dans les pays de peuplement tupuri ancien ont pu également enregistrer en négatif certaines fluctuations de l'agrosystème comme le développement, au début du siècle, des yollobri *(Sorghum guineense* à cycle long, promu sur des emblavures marginales du terroir), puis l'engouement pour les muskuwaari... Actuellement, la « culture en productivité » du coton (avec engrais et intrants divers), sans se substituer aux *Faidherbia albida*, opère indifféremment avec ou sans lui.

CONSERVATION ET DÉVELOPPEMENT DES PARCS PRÉEXISTANTS PAR LES PEULS

- **Une grande diversité de parcs relictuels**

Les FulBe n'ont pas mis sur pied de paysages propres ; ils ont repris les parcs existants, parc de *Faidherbia albida* sur le mayo Bula, parc de karité-néré à l'ouest des monts Mandara, Mubi, Madagali ou ceux plus réduits de la Bénoué, Demsa, Tcheboa et Turwa. En se lançant dans l'agriculture, ils ont fait leur une partie des disciplines agraires des groupes asservis, allant parfois jusqu'à suivre les mêmes interdits touchant certaines essences.

A la différence des parcs de *Faidherbia albida* issus d'une même reproduction ethnique, comme chez les Masa, ceux récupérés par les FulBe présentent des faciès très variés. Tantôt denses, tantôt clairsemés, ces peuplements anthropiques sont souvent composés d'individus âgés. Les densités des parcs vont de quin-

ze à quarante arbres par hectare et, à l'intérieur, le pourcentage des *Faidherbia albida* peut dépasser 75 % (à Balaza Alkali, Kay Kay, Mogom...).

Dans le Diamaré, certains parcs de bourrelets de berge (Mayo Bula) sont hérités de constructions anciennes suscitées par les agropasteurs zumaya, aujourd'hui foulbéïsés. Ces parcs visuellement monospécifiques sont en fait de type auréolaire au départ, le développement en continu des cultures les ayant rendus jointifs ultérieurement. *Ceiba pentandra*, *Celtis integrifolia* continuent ici aussi à signaler les sites d'anciennes strates de peuplement ; quant au glissement de l'habitat lui-même, il entraîne l'inclusion dans les parcs d'arbres commensaux de l'homme comme certains ficus, *Ziziphus spina Christi*, et bien sûr le baobab.

Les rebords des berges du Mayo Bula sont occupés par un liseré minimal, très représentatif d'*Acacia sieberiana*, *Ficus sycomorus ssp. gnaphalocarpa* et surtout d'*Andira inermis* ; ces restes d'un peuplement ripicole, autrefois plus développé, contribueraient à maintenir les berges et serviraient de réservoir de productions de disette.

- **Le souci de conserver ces parcs préexistants**

Aujourd'hui à Jappay, Mogom, Wuro Zangi et sur tous les bords du mayo Bula, les grands *Faidherbia albida* ne peuvent être ni coupés, ni même émondés dans certains villages ; le fautif serait repris par ses voisins et convoqué chez le chef de canton. Le cultivateur n'a des droits que sur les jeunes *Faidherbia albida* qu'il a fait pousser ; il peut, à sa guise, les émonder ou les abattre. Si un propriétaire conserve plusieurs brins, parfois sur un espace réduit, il en retiendra, après trois ou quatre ans, un ou deux qui lui serviront par la suite comme piliers de hangar.

Dans certaines régions (Mayo Bula, Dogba, Papata...), au début du siècle, on avait toute liberté d'émonder les jeunes *Faidherbia albida* qui présentent encore un port en cône renversé, ensuite on ne devait plus toucher au houppier lorsqu'il avait pris sa forme de dôme. Toutefois, l'émondage pratiqué sur les branches basses peut modifier la frondaison et retarder l'apparition de ce dôme.

Pour d'autres communautés villageoises, en revanche, il est préconisé une taille régulière tous les quatre ans pour « empêcher l'arbre de vieillir, ses branches de devenir cassantes et favoriser la production de gousses. » Ces gros *Faidherbia albida* deviennent de *facto* propriété collective. Cette perte de droit sur l'arbre n'encouragerait pas les cultivateurs à favoriser le vieillissement des pieds de *Faidherbia albida* sur leurs champs, ce qui pourrait expliquer l'immobilisme de certains parcs.

- **Une extension en dents de scie de la composante arborée**

Les parcs de *Faidherbia albida* du Diamaré sont moins homogènes que ceux rencontrés chez les Tupuri et les Masa. Ils présentent des emboîtements ou des promotions successives d'arbres. Ces strates équiennes sont parfois visibles dans le paysages et confirmées par des mesures de diamètre des troncs. Présentées en courbes, elles déterminent des pics très nets. La mémoire collective des villages n'est pas toujours très consciente de ces dispositions. Ces pulsions dans l'évolution d'un parc peuvent être redevables d'une volonté d'étoffer la formation existante, de remplacer les manquants, de suivre la progression des champs et militeraient en faveur d'une gestion raisonnée ; mais, souvent, elles ne renvoient (surtout pour des pics mineurs) qu'à des périodes écologiques favorables au développement des *Faidherbia albida* que les cultivateurs entérinent en émondant les plus beaux rejets. Cette analyse reste valable pour d'autres parcs, de karités, de ficus...

- **Un patchwork de peuples et donc de types de parcs**

Les zones de peuplement peules sont des mosaïques de groupes qui comprennent des FulBe éleveurs, des groupes foulbéisés, des quartiers riimayBe (affranchis), cultivateurs purs, et des groupes sirata (bornouans), cultivateurs pratiquant rarement l'élevage... Chacune de ces communautés réagit différemment dans l'aménagement de son espace et, partant, dans la gestion de ses parcs de *Faidherbia albida*.

- **Un attrait pour *Faidherbia albida*, fonction des habitudes pastorales et des choix agronomiques**

Quant au rapport troupeaux/*Faidherbia albida*, il semble moins fort chez les Peuls que chez les Habe agropasteurs. Les Peuls ne gardent qu'un cureeji (partie du troupeau restant au village), alors que plus des trois quarts du cheptel pâturent sur les yayre (pâturages d'inondation du Logone), durant la saison sèche, et se concentrent dans certaines zones « égouttées » et sans mouches pendant la saison des pluies. Si bien que la charge en bovins sur les éteules et sous le parc à *Faidherbia albida* est généralement moindre que pour les Masa et les Tupuri.

Les comportements individualistes sont également plus marqués dans le monde peul et au sein d'un village, au niveau même des parcelles ; les cultivateurs expriment des choix différents selon que le champ leur est propre ou non, en fonction des types de rotations culturales, de l'éloignement des habitations... Ils rendent compte d'irrégularités notables dans les densités et les couches d'âge des *Faidherbia albida*.

FAIDHERBIA ALBIDA ET LES COMMUNAUTÉS MONTAGNARDES : L'EXEMPLE MOFU

- **Une perception sociale, économique et religieuse**

Le comportement phénologique particulier de *Faidherbia albida* lui confère une place à part dans les nombreuses essences des massifs. Son action dans le développement des sorghos l'intègre dans le monde des rituels pour des populations qui ont élaboré une véritable « religion du mil ».

Le microcosme de chaque massif, où la place est mesurée, renforce encore son intérêt et impliquait des liens évidents avec le pouvoir. Les rôles joués par *Faidherbia albida* varient non seulement de massif à massif, mais parfois aussi entre les différents quartiers. Tous néanmoins militent en faveur d'une interaction avec le social, l'économique et partant le religieux.

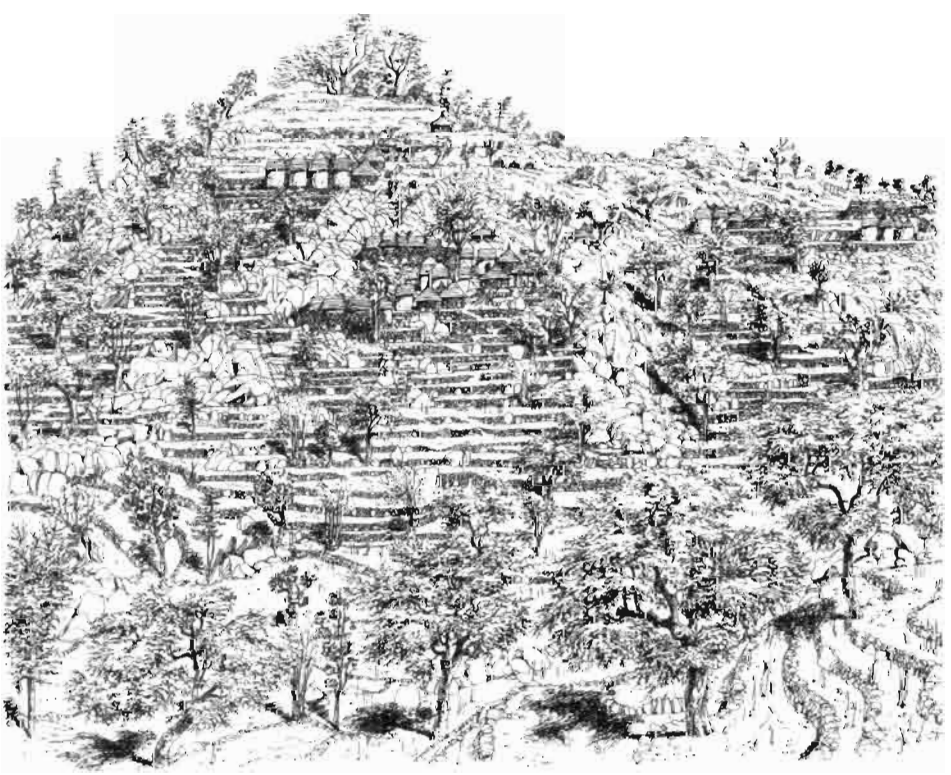
Nous avons choisi des exemples dans le groupe mofu à Duvangar, Meri, Dugur-Cakijebbe et les groupes apparentés : Gemzek et Mboku, à l'ouest de Maroua.

- **Un effet positif sur la production du sorgho**

Les Mofu Duvangar et les Mboku, conscients de la meilleure venue des sorghos sous *Faidherbia albida*, allaient (aujourd'hui la pratique se perd) jusqu'à matérialiser la limite de l'influence du houppier par un liseré de pierres. Ils affirment que l'emplacement d'un *Faidherbia albida*,une fois que celui-ci a disparu, conserve une fertilité supérieure à celle de son environnement pendant au moins trois ans. Les panicules recueillies là sont alors récoltées, séchées et battues séparément des autres. Les grains sont ensilés dans un mide (petit compartiment du grenier) et c'est à partir d'eux que les semences seront sélectionnées.

- **La régénération des *Faidherbia albida* est parfois favorisée par des semis**

Les *Faidherbia albida* sont favorisés sur les terrasses, quand ils poussent après épandage du fumier. Toutefois, un certain nombre de cultivateurs sèment



Parc à faidherbia en pays Podokwo (monts Mandara).

Faidherbia albida sur leurs champs, comme à Meri. Les graines (hurum) sont mises en terre après avoir été légèrement bouillies ou prélevées dans la panse des taureaux du maray, égorgés pour les fêtes du massif tous les deux, trois ou quatre ans, ce qui renforce le lien entre *Faidherbia albida* et le taureau du maray. Lorsqu'on enferme un taureau (dit « bœuf de case » dans la littérature) pour qu'il reste claustré parfois pendant plusieurs années, on lui donne dans les premiers temps des feuilles de *Faidherbia albida* et régulièrement des gousses.

- **La gestion des arbres est rigoureuse en vue d'une production de bois**

A Meri, dans le quartier de Gabadok, un pied ne pouvait être coupé avant six ans, temps que l'on décompte à l'aide de cailloux, et ce sous réserve de l'autorisation du chef ; à Mboku, on les abattait tous les douze ans. La pratique de l'émondage, à la fin de la saison sèche, est généralisée chaque année ou tous les deux ans.

Faidherbia albida est à la charnière d'une utilisation banalisée et d'un emploi sublimé, ponctué de rituels. Les Mofu tirent de lui, à l'image des autres communautés montagnardes, les mêmes productions, mortiers, portes, fourches-échelles de greniers. On achète les troncs, à cet effet, comme on le fait pour ses feuilles ou sa cendre, que l'on répandra sur les terrasses.

- **Certaines parties du faidherbia ont des usages magiques ou médicinaux**

A Duvangar, on utilise les Loranthacées (très probablement *Tapinanthus sp.*), hémiparasites de *Faidherbia albida*, comme protection contre les voleurs ; pour « attacher la concession », c'est-à-dire empêcher les femmes de la quitter et aider celles qui connaissent un accouchement difficile (à Dugur). A Gemzek, une décoction de ses racines est donnée dans le même but.

La cendre est une médication puissante qui intéresse les maladies de peau bénignes ou celles aux symptômes fortement marqués : lèpre ou « feu de Dieu », variole... Pour cette dernière, on faisait brûler un tronc de *Faidherbia albida* et la cendre recueillie était répandue sous un hangar ; les malades devaient ensuite se rouler dans ce lit de cendres.

- **Autrefois *Faidherbia albida* n'existait pas sur les massifs où son rôle était joué par *Acacia polyacantha***

Selon les informateurs mofu, zulgo et mada, avant que les *Faidherbia albida* n'apparaissent sur les massifs (à la suite des zébus venus des plaines), c'était *Acacia polyacantha* (gwolom) qui jouait son rôle comme essence de restitution de la richesse du sol. Il prospérait non seulement dans les fonds de talweg, mais aussi sur les terrasses et les vallées hautes. C'est une essence à croissance rapide ; sa litière est abondante et fournit une bonne décomposition sur place. Feuilles et gousses sont appétées par le bétail qui, comme pour *Faidherbia albida*, les dissémine sur les champs. Il a pu exister des jachères à gwolom et des parcs, comme on peut en observer chez les Zulgo et les Mada, où cette essence est associée à *Faidherbia albida* ou en parcs purs ; aujourd'hui, les peuplements anthropogènes d'*Acacia polyacantha* se sont raréfiés.

Des formes savantes d'engrais vert apparurent avec lui et se généralisèrent avec *Faidherbia albida*. Les paysans récoltaient *Digitaria horizontalis* dans les zones humides des fonds de vallées et de piémont pour les étaler sous les houppiers de gwolom et de *Faidherbia albida*. Le réseau enchevêtré de leurs tiges et stolons retenaient les folioles tombant des arbres.

Près de Bobo Dioulasso (Burkina Faso), cet agriculteur a défriché une jachère à *Acacia polyacantha* en respectant les rares faidherbias. Cette pratique rappelle celle qui avait cours dans les monts Mandara.

On obtenait ainsi un engrais vert, parfois même gardé dans des sortes de compostières (chez les Mofu).

Au cours du XVIII[e] siècle encore, *Faidherbia albida*, quoique présent dans les monts Mandara, était surtout un arbre caractéristique de la plaine. Sur les piémonts mêmes, pourtant zone sensible et où se développaient depuis le début du siècle des parcs à *Faidherbia*, ce dernier ne fut pas ressenti comme nécessaire. En son absence, les paysans combinèrent d'autres moyens pour faire prospérer les sorghos. Sur certains piémonts, par exemple, ils sélectionnèrent un cultivar (*Sorghum caudatum-guinea*), dit « sorgho d'ombre », ne poussant justement qu'à l'ombre de diverses espèces d'arbres. On le retrouve encore sur les piémonts de la plaine de Gawar, sous les houppiers des caïlcédrats qui composent des parcs linéaires.

- ***Faidherbia albida* fut initialement introduit par les notables**

Faidherbia albida est parfois présenté, avec le taureau du maray et l'igname en fosse, comme un paramètre de la « richesse » et de la notoriété chez certains Mofu.

A Cakijebbe (massif de Dugur), *Faidherbia albida* est réputé venir de la plaine, dans le ventre des bovins. Ceux qui avaient jadis accès à la vache étaient les chefs et les notables. Ils élevaient un ou plusieurs « bœufs de case » dans des étables surcreusées ouvertes sur une petite mangeoire dont on sortait le fumier en mars ou avril pour engraisser les terrasses, concourant à susciter *Faidherbia albida*. Aussi celui qui possédait wuyang (*Faidherbia albida*) sur ses champs était « un puissant ».

- **Cet arbre est toujours sous la prérogative des chefs de terre**

Peu à peu, *Faidherbia albida*, par l'entremise du fumier acheté et des transactions sur la terre, n'a plus été l'exclusive des chefs. Pourtant le chef de massif conserve sur les wuyang une prérogative, « cet arbre est pour lui ». Pour tailler *Faidherbia albida*, même sur son propre champ, pour en enlever les Loranthacées et, à plus forte raison, l'abattre, il faut lui en demander l'autorisation car il avait seul jadis le droit de préparer sa nourriture avec ce bois.

Chez les Mofu de Duvangar et de Meri, chez les Gemzek et les Mboku, *Faidherbia albida* était aussi « commandé » par le chef avant leur récente démocratisation. On ne saurait couper un *Faidherbia albida* sans son avis. Même si l'arbre est couché par l'orage, on ne peut le débiter sans l'en avertir par la voie hiérarchique passant par le chef de quartier. On apporte au chef une partie du bois, de même que lors des salutations, on viendra avec un sac de gousses de *Faidherbia albida* car « on lui rétrocède ce qui fut son bien ».

- **Séparation entre droit foncier et droit sur l'arbre**

L'héritage, comme la vente de la terre, est dissocié des *Faidherbia albida* qui y croissent. Le propriétaire conserve généralement les auréoles, matérialisées ou non, sous les houppiers pour y cultiver et y ramasser les gousses de deux à cinq ans après la vente du champ.

- **Un arbre si puissant qu'il a défié Dieu...**

La singularité de l'arbre apparaît dans un conte mboku, explicatif d'un trait des *Faidherbia albida* sur les massifs : par manque d'enracinement sur des sols peu profonds, ils sont sensibles au vent et souvent abattus.

Yam (*Faidherbia albida*) parlant à Dieu lui dit : « non seulement je suis le chef des arbres, mais je commande au mil, les gens me respectent car je les nourris, ils se servent de moi pour piler leur mil, je leur fais tant de bien qu'ils m'adorent. »

Dieu lui répondit : « je suis toutefois en mesure de faire ce qui me plaît de toi » et Yam de lui rétorquer : « Que peux-tu ? Je n'ai jamais soif et puise mon eau sans le secours de personne, je reste le seul verdoyant durant la saison sèche ».

Yam et Dieu se mesurèrent alors, Dieu s'acharna sur lui. Chaque année encore il déracine et fait tomber des *Faidherbia albida* sur le massif de Mboku.

C'est pourquoi on doit éviter son ombre, surtout les femmes, et sa proximité même pendant la saison des pluies est déconseillée car, jusqu'à ce jour, cet arbre est en procès avec Dieu.

- **...Et dont la mort s'accompagne de sacrifices...**

A Duvangar, si un grand *Faidherbia albida* tombe pendant la saison des pluies, le propriétaire du champ sacrifie à son mbolom ma ley (l'esprit du champ). Auparavant, il est passé chez le devin, qui a observé les pattes d'un poussin égorgé pour voir si cet arbre peut être débité dès cette année.

Chez les Gemzek, on verse dans le trou, laissé par l'arbre déraciné, un choix de graines (*Eleusine coracana*, niébés, souchets et mils). Après une consultation chez le devin, le ndu kuli, qui habituellement effectue les divers sacrifices pour le propriétaire dans sa concession, prend en charge le rituel concernant *Faidherbia albida*. Pendant ce temps-là, sa famille, surtout les femmes, ne peut s'approcher de l'arbre. Si cet interdit était transgressé, le fils aîné pourrait être atteint par la varicelle ou une maladie de peau (11).

A Meri, on place une bouture d'*Euphorbia desmondii* dans le trou laissé par l'arbre et on y casse un œuf après lui avoir fait décrire un mouvement circulaire autour de la tête du propriétaire et de l'arbre. On peut également opérer un sacrifice préventif avec, comme ingrédient, du daman préparé sans sel. On jette boulettes de mil et viande dans le trou du *Faidherbia albida*, ainsi qu'aux quatre points cardinaux, pour les « enfants de la tornade ».

A Gemzek, on dispose également une bouture d'*Euphorbia desmondii* et on égorge un mouton dans la cavité laissée par l'arbre qui recueille sang et rumen. La chair est préparée sans sel, comme pour la mort d'un homme « car *Faidherbia albida* est mort, foudroyé, comme un homme ».

- **...Faute de quoi, son bois n'est pas utilisable**

Pour abattre un *Faidherbia albida*, on ne peut y mettre le feu ; il est même interdit d'en allumer un sous son houppier. De la même façon que brûler le mil ressortirait d'un acte aberrant, on ne saurait brûler *Faidherbia albida* en pied et les informateurs d'ajouter « que l'on ne peut tomber un *Faidherbia albida*, soutien du mil, sans sacrifice » (chez les Mofu Duvangar, Mboku, Gemzek...).

Autre affirmation : « on ne touche pas au bois de *Faidherbia albida* n'importe comment, pour le débiter ». Le premier qui « portera la hâche » sera nécessairement un vieil homme (12). A Mboku, cet impératif s'applique même pour la taille. A Cakijebbe, les jeunes gens ne peuvent se charger de l'émonder et les enfants n'ont pas le droit d'y grimper mais ce sont surtout les femmes que l'on cherche à éloigner de l'arbre ; celles enceintes ne peuvent stationner sous son ombre ; elles sont écartées du sacrifice concernant l'arbre. Chez les Mboku, les femmes en âge de procréer n'ont pas le droit de s'asseoir sur son bois ; elles ne peuvent, enfin, toucher et utiliser son bois que dans un but précis, pour certaines manifestations : la fête du maray, le sacrifice du massif, le battage du mil, les deuils. La nouvelle épousée recevra, à son entrée dans la concession, un fagot de *Faidherbia albida* pour lui faire honneur ainsi qu'à sa famille (13).

Les vieux, en revanche, se taillent des bancs dans le bois de *Faidherbia albida* pour les placer dans la salle des greniers, là où se déroulent les sacrifices, « pour discuter le kuli ». Il aide ainsi au bon fonctionnement des rituels.

- **Une place-clé dans les rites funéraires**

Chez les Gemzek, au quartier Sirem, on n'enterre jamais les gens du commun sous *Faidherbia albida*. Seuls les « grands », chefs de quartiers ou chefs de massif, avaient leur cadavre enseveli entre les racines de *Faidherbia albida*,à une certaine profondeur.

Chez les Mofu Duvangar, en revanche, il est interdit d'enterrer quelqu'un sous le houppier d'un *Faidherbia albida*, pas même le placenta d'un enfant. Cet emplacement est réservé à ceux morts de la variole (14), aux victimes de la foudre ou encore aux lépreux, les principes bénéfiques de l'arbre devant enrayer ces fléaux.

L'EXTENSION DES PARCS SUR LES PIÉMONTS DES MONTS MANDARA

- **Un développement très rapide lié à la descente en plaine des agriculteurs montagnards**

Faidherbia albida était le fait de parcs en plaine, développés le long des bourrelets de berge, et d'individus sur les terrasses basses des massifs. Les piémonts, sortes de *no man's land,* en étaient généralement dépourvus au début du siècle. Aujourd'hui ce sont ces zones qui voient la construction de vastes parcs par les montagnards descendus en plaine.

Les plus conséquents se situent dans la plaine de Koza, sur les piémonts nord-est des monts Mandara (Mada, Uldeme Muyang, Vame, Urzo...). Ces parcs, amorcés depuis ces différents piémonts, ont avancé à des vitesses variables, mais ils sont devenus coalescents, englobant parfois de vieux parcs récupérés par les Mandara et les Peuls. Ils incluent des éléments secondaires comme *Ficus sycomorus ssp. gnaphalocarpa, Anogeissus leiocarpus* chez les Mineo ou un pourcentage remarquable de *Stereospermum kunthianum* dans la région de Koza. On remarque néanmoins l'absence d'un sous-parc de *Ziziphus mauritiana*, pourtant buissonnant sur les champs après les récoltes. Dans la plaine de Koza, le parc enserre maintenant les deux zones mises en défens, le parc de Mozogo et la ferme de Guetale.

Ces parcs furent lancés de façon spectaculaire entre 25 et 30 ans. En 1965-70, seuls quelques pieds de *Faidherbia albida* poussaient sur les piémonts immédiats. C'est à partir de ces premiers semenciers que se sont construits de façon originale ces parcs et, à une association avec les éleveurs peuls, leur genèse associe l'action des troupeaux peuls et celle des cultivateurs montagnards descendus en plaine. Le bétail venant de Mayo Mangave, de Kosewa, Pette, Balaza... « champoyait » sur les éteules après la récolte des arachides et des sorghos. Leur passage autorisait le démarrage de *Faidherbia albida* buissonnant. Les troupeaux peuls stationnaient environ cent cinquante jours dans l'année et cette présence s'accompagnait de nombreux contrats de fumure. Sur le piémont de Molkwo, un cultivateur habe donne cinq à six mesures de mil pour un walde, parc à bétail, de cinquante à cent têtes, qui reste un mois sur son champ et il rajoute mille à deux mille francs au départ du berger. Chez les Mandara de Warba, le cultivateur prépare les épineux de la zériba, apporte des récipients pour abreuver le bétail et plante les piquets d'attache des veaux, mais il ne paye pas l'éleveur. Celui-ci peut se déplacer deux fois dans la saison. Ce mode d'enrichissement du sol est très répandu.

Les montagnards descendus en plaine étendent les parcs à *Faidherbia albida* sur les piémonts. Mora, Nord-Cameroun.

- **Un manque de matière organique dramatique pour le sol...**

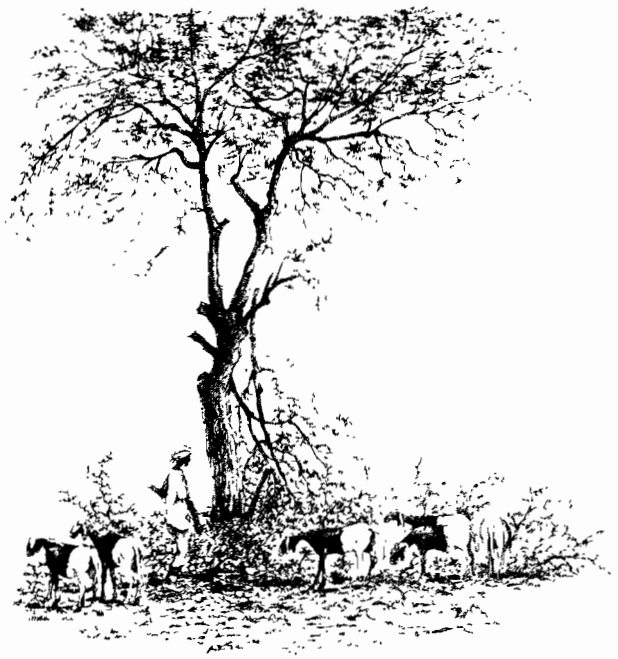
Le processus rapide de mise en place de parcs de *Faidherbia albida*, connu par ailleurs, a reçu tout récemment encore une accélération à la fois dans sa progression géographique et dans son étoffement. Entre 1980 et 1983, la sécheresse qui a raréfié les sources d'alimentation du bétail a coïncidé avec une arrivée plus massive d'éleveurs sur les piémonts et une demande accrue d'approvisionnement de l'élevage urbain de Maroua et de Mora.

Les fanes d'arachides, niébés, pois de terre furent progressivement retirées des champs et à leur suite les daldaari, mil avorté, et, depuis 1980, les cannes de mil elles-mêmes sont commercialisées. Celles-ci sont disposées en gerbiers sur les champs ou sur le sable des mayo, protégées par des épineux, alors que les fanes s'accumulent dans les branches maîtresses des arbres et, sur des hauteurs impressionnantes, au-dessus des auvents. Seules restent sur les champs, livrées à une concurrence entre les troupeaux locaux et ceux venus de la plaine, les basses tiges de mil de 50 à 60 cm de hauteur (salwaare, pl. calwaaje).

- **... Que seul Faidherbia albida peut compenser...**

L'unique recours de ces piémonts, de plus en plus dépourvus de matières organiques, devient *Faidherbia albida*. Les sociétés villageoises l'ont bien compris et, depuis cette date, la reprise du parc est spectaculaire. Il progresse même pour des villages qui louent leurs terres aux Mandara, pour avoir de meilleurs rendements de coton. Les Muyang ayant passé le mayo, vers Manawaci, font pourtant partir un parc, alors que la terre peut leur être reprise par les Mandara. L'arbre lui-même devient un enjeu ; le propriétaire se réserve de « faire la feuille » ou alors il rétrocède quelques pieds en exigeant « la cola » (un petit cadeau), voire de l'argent. Depuis 1987-88 s'est amorcée une commercialisation des gousses vendues à Maroua de 1 500 à 2 000 F CFA le sac en 1990.

Sur ces piémonts, la situation devient tendue entre les cultivateurs, qui essayent de tirer le meilleur parti des sous-produits de leurs cultures et, d'une part, les villages d'éleveurs peuls (Nguringa, Mbozo, Lalaway....), premiers implantés dans ces *no man's land,* qui sont assiégés maintenant par les Habe descendus en plaine et, d'autre part, les transhumants. La pression de ces derniers s'accentue, compte tenu de la baisse tendancielle de la pluviosité et de la dégradation des yayre. Les massifs vidés de leur peuplement ne peuvent en retour être utilisés par le bétail à cause des pentes, excepté les collines de roches vertes de Mogazan.



Elagage d'un *Faidherbia albida* par un berger en fin de saison sèche. Région de Mora (Nord-Cameroun).

- **... Malgré les pratiques dévastatrices d'éleveurs nomades**

Sur ces mêmes parcs, des éleveurs de moutons, les Uda'en, venus du Niger via le Nigeria, effectuent temporairement des descentes dévastatrices. De la même façon qu'à des latitudes plus hautes ils exploitent les feuilles d'*Acacia seyal* et *d'Acacia senegal*, ils ébranchent les *Faidherbia albida*. En 1982, malgré quelques rares accords passés avec les cultivateurs (à Mayo Ngeshewe et à Kuyape), les Uda'en investirent brutalement les parcs. La préfecture de Mora demanda qu'ils soient chassés mais les cultivateurs eurent peur de ces nomades dont les bêtes étaient acculées à la famine. Le pouvoir occulte que les populations leur prêtent fut suffisamment dissuasif pour limiter leurs réactions. Depuis les Uda'en reviennent régulièrement (1984, 1987, 1988...).

- **La construction du parc est liée à la pression démographique**

Les parcs de la plaine de Koza comme ceux des piémonts mada, muyang, uldeme... sont l'expression d'un blocage des montagnards qui, pour des raisons foncières, ne peuvent s'enfoncer plus en plaine. C'est une réponse au cumul de charges démographiques qui éprouvent de la difficulté à délester leurs trop-pleins.

EXEMPLE D'ETHNIES N'INTÉGRANT PAS *FAIDHERBIA ALBIDA* À LEURS AGROSYSTÈMES

- **En zone sahélienne, les champs de cases hyperfumés et les cultures de saison sèche excluent *Faidherbia albida***

Au sud du lac Tchad, *Faidherbia albida* est parfois représenté par de très beaux spécimens ; des ébauches de peuplement ont, lors de « contraintes écologiques aggravées » des années 70-73, séché sur pied.

Les deux ethnies qui peuplent la région s'en désintéressent : les Kotoko, pêcheurs-commerçants et cultivateurs, développent une culture des jardins et vivifient les bas-fonds ; les Arabes Showa, éleveurs, reproduisent un terroir stéréotypé et bipolarisé. Les champs haray autour des cases, protégés de zéribas et réservés aux maïs et petits mils, utilisent une abondante fumure, sortie des vastes cases où est enfermé le bétail une partie de la journée pendant la saison des pluies. Les champs buriye, emblavures de bas-fonds, mares ou diverticules de mayo, sont réservés aux berbere (= muskuwaari) et aux niébés. Quant aux abords du lac, devenus de plus en plus attrayants, ils connaissent une vive concurrence entre éleveurs et cultivateurs. La mise en valeur repose sur des cultures de décrue, maïs et niébés ; dans tous les cas, *Faidherbia albida* est non efficient au niveau de l'agrosystème.

Les éleveurs peuls et arabes showa au nord du Diamaré, des régions de Fadere et de Pette, ont également peu développé *Faidherbia albida*. D'une part, les surfaces de cultures sous pluies restent limitées ; elles sont réservées à l'auréole des champs de case très fermée et au Yoolde (dune), où *Faidherbia albida* pousse moins bien, les réserves d'eau étant trop éloignées. On y cultive des variétés de mils pénicillaires, sensibles aux *Quelea quelea* *, et on ne peut y multiplier les reposoirs. D'autre part, la complémentarité des vastes zones de karal **, exploitées toujours en muskuwaari, font que l'arbre, et donc *Faidherbia albida,* en est exclu.

* Ndlr. Petits oiseaux granivores, dits « mange-mil ».
** Vertisols.

- **En zone soudanienne, *Faidherbia albida* se fait rare...**

Au sud de la Bénoué, au-dessus de l'isohyète 1 000 mm, *Faidherbia albida* connaît sa limite méridionale. Les derniers *Faidherbia albida* en peuplement significatif sont recensés dans les golfes des montagnes de Poli, de Mango à Gare. Quelques individus isolés apparaissent encore au sud de Voko.

Les Dowayo sont des agropasteurs, éleveurs de taurins, mais *Faidherbia albida* n'est pas chez eux développé en parc. Sa présence est enregistrée à proximité de petits établissements dowayo, qui capitalisent l'essentiel des arbres de création anthropique. Des *Faidherbia albida* poussent le long des mayo, le vecteur est ici le taurin, *Faidherbia albida* ayant en effet précédé l'arrivée des troupeaux peuls et mbororo. Il n'est pas taillé et croîtrait naturellement ; les Dowayo lui accordent un intérêt médiocre, le bétail consomme ses gousses et on l'utilise comme bois de feu. Il n'est pas intégré dans le système agronomique, sans doute le cycle des *Sorghum guineense*, de six mois et plus, les porte à épiaison lorsque les houppiers sont bien formés, au début de la saison sèche, ce qui présenterait une entrave au bon mûrissement des panicules.

La limite méridionale de *Faidherbia albida* semble moins « écologique » que liée à un manque d'intérêt, à la fois pour sa participation au mode de restitution (dans un système de type extensif), dans son cycle non synchrone avec les cultures qu'il accompagne et même dans son apport fourrager au regard des vastes pâturages graminéens.

Les établissements peuls de la vallée de la Bénoué et du Mayo Kebbi disposent de *Faidherbia albida*, mais les parcs sont généralement réduits ou seulement à l'état d'ébauche. La cause invoquée peut être la faiblesse des densités humaines de la vallée de la Bénoué, si bien que d'autres parcs, qui pouvaient prendre la relève de *Faidherbia albida* sur ces latitudes, comme le karité ou le néré, sont également peu représentés (15).

- **... Mais quelques migrants reconstruisent peu à peu leur paysage originel**

On assiste à des constructions récentes autour des villages pionniers composés principalement de peuplements originaires du Tchad, reproduisant sur la même latitude leur paysage originel.

D'anciens sites peuls sont également réoccupés par des migrants venus de la Province de l'Extrême-Nord. Certains ont réactivé les parcs de *Faidherbia albida* créés par les populations habe antérieures, Nyam Nyam, puis Foulbéïsés ; c'est le cas des colonies tupuri sur les bords du mayo Kebbi, à Bajuma Mangoro, à Hula... Le mimétisme avec les zones de départ est surprenant ; d'autres migrants montagnards, Mafa, Mineo, Uldeme... commencent à le faire, à Wuro Labbo I par exemple, pour servir maintenant de nouvelles cultures comme le maïs. Ils favorisent également une sélection de la végétation environnante à base de karité, néré, *Detarium microcarpum*, *Prosopis africana*, *Amblygonocarpus andongensis*, *Sarcocephalus esculentus* taillés... sur la copie des villages voisins de migrants tchadiens.

CONCLUSION

- **En zone soudano-sahélienne, l'augmentation de la pression démographique se traduit en général par la construction d'un parc...**

Faidherbia albida, que ce soit en parc dense, en dominante de parc, en position marginale dans des parcs de composition complexe, en simple présence commensale, en situation relictuelle, en pied isolé ou même totalement absent, est sinon l'illustration d'un agrosystème particulier, du moins le décrypteur concourant à son analyse ; il renseigne aussi sur les tendances en cours dans l'agrosystème.

Toutefois, le paramètre de la latitude apporte son correctif. Il semble qu'au Cameroun la bande mixte de jonction soudano-sahélienne soit la zone d'utilisation maximale de *Faidherbia albida*.

Le bilan des différents parcs de *Faidherbia albida* du Nord-Cameroun est positif, à la fois dans les anciennes extensions comme sur les bords du Logone et en situations nouvelles, sur les piémonts des monts Mandara. Après avoir privilégié pendant ces cinquante dernières années des systèmes extensifs en plaine, donnés comme plus rémunérateurs, et s'étant montrées peu favorables aux parcs, certaines zones de la province de l'Extrême-Nord connaissent aujourd'hui une saturation foncière. Cet état de fait encourage alors un retour à des pratiques anciennes et à des réflexes agronomiques qui favorisent *Faidherbia albida* ; la forte présence de *Faidherbia albida* se calque sur celle des plus fortes densités humaines de la province de l'Extrême-Nord, toutes supérieures à 75 habitants/km^2.

- **...Encore faut-il que les sociétés croient en l'avenir de leur terre**

On peut néanmoins s'interroger sur la stagnation de nombreux parcs ou sur leur absence dans certaines zones en dépit de l'existence de semenciers, de bétail et de charges de peuplement accrues.

Pour P. PÉLISSIER (1995), *Faidherbia albida* fut moins, dans le passé, le produit d'une démarche agronomique que la conséquence d'une carence dans l'encadrement politique de certaines sociétés impuissantes à sortir de leurs réduits défensifs et à étendre leur contrôle territorial. Le parc arboré est l'expression d'une civilisation agraire dans ses dominantes et souvent, par ses participants secondaires, d'une enseigne ethnique. Le paysage que la civilisation a suscité se détériore avec le recul des particularismes socio-économiques. Autrement dit, si les sociétés rurales sont en crise, les parcs qu'elles ont engendrés le sont aussi et si l'encadrement politico-social traditionnel s'est délité, les disciplines agraires qu'il véhiculait n'opèrent plus.

Ces sociétés regardent vers les villes, le paysan sait que ses fils, une fois leur scolarité achevée, désireront s'y établir. A quoi bon alors entretenir le parc, "élever" de nouveaux arbres ? De plus, les parcs sont généralement nés d'agrosystèmes plus autarciques. Aujourd'hui, l'horizon s'est élargi, on peut aller chercher du travail ailleurs et même émigrer sur de nouvelles terres.

D'autres cultures ou techniques culturales interviennent avec l'utilisation d'engrais, d'insecticides... aussi *Faidherbia albida* peut-il être perçu comme archaïque. Tout le processus d'amélioration agronomique après la deuxième guerre mondiale fut précédé par une volonté de chasser l'arbre du champ, de transformer le champ en parcelle quadrangulaire ou en un bloc de parcelles, traité en culture pure, l'arbre n'étant toléré au mieux qu'en bordure, en "rideau", et si possible sous la forme d'essences exogènes.

L'éradication de l'arbre fut considérée comme un préalable à l'introduction de la culture attelée, qui devait elle-même précéder une motorisation légère, puis lourde. Il suffit, pour s'en convaincre, de visiter les stations de l'IRA et d'observer l'aménagement des fermes pilotes des années 1950 et 1960, véritables conservatoires de la pensée et des techniques du développement d'alors. La ferme de Guétalé (PEN) en est un des plus beaux exemples.

A partir de ce modèle, tout un schéma de pensée sera véhiculé par les cadres du Secteur Expérimental de Modernisation Rurale du Nord-Cameroun (SEMNORD) et de la Compagnie Française de Développement du Textile (CFDT) qui deviendra la Société de Développement du Coton (SODECOTON).

- **Aujourd'hui l'administration veut protéger *Faidherbia albida*...**

Depuis quelques années, des agents des Eaux et Forêts, de la SODECOTON, des Services de l'Agriculture, reconvertis sur le tard à l'intérêt de *Faidherbia albida*, mais pas encore à celui de l'association de l'arbre et du champ, interdisent son abattage (16). Ils mènent campagne en concurrence avec les divers représentants des Organisations Non Gouvernementales qui saisissent enfin avec *Faidherbia albida* un cheval de bataille.

Toutefois, ces incitations engagées de l'extérieur et répétitives, même appuyées par l'administration, ne sont sans doute pas vaines, car il faut trouver un substitut aux anciennes disciplines agraires touchant *Faidherbia albida*. Il convient de créer un climat socio-administratif favorable avec un argumentaire aussi efficace que le furent les interdits appliqués par les sociétés traditionnelles.

Sarclage dans un jeune parc planté.

- **... Mais elle doit prendre garde aux souhaits des communautés villageoises**

Grâce aux techniques « artificielles » de multiplication et aux modes de diffusion encadrée, *Faidherbia albida* est amené d'une certaine façon à sortir du cadre des civilisations agraires qui l'ont favorisé, même si leurs dynamiques propres continuent d'opérer.

Toutefois, les propositions de projet de création ou d'extension de parc de *Faidherbia albida*, en disposition classique ou selon d'autres schémas, comme celui en bandes de cultures alternées (17), ne pourront faire l'économie d'un diagnostic des comportements des communautés villageoises avec l'arbre, a fortiori avec *Faidherbia albida*. L'accueil ne sera pas le même chez des populations averties de son intérêt et chez celles où il connaît une défaveur ou celles encore qui, selon un cheminement historique qu'il convient d'analyser, n'ont jamais eu recours à lui.

Faidherbia albida, fer de lance d'un développement agronomique : peut être ! Mais il ne saurait être présenté comme une panacée partout et pour tous. ■

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CHARREAU (C.), 1979. — Le rôle des arbres dans les systèmes agraires des régions semi-arides tropicales d'Afrique de l'Ouest. Dakar. Colloque « Le rôle des arbres au Sahel », Dakar, Sénégal, p. 33-36.

DANCETTE (C.), POULAIN (J.F.), 1968. — Influence de l'*Acacia albida* Del. sur les facteurs pédologiques et les rendements de cultures. Dakar, Sénégal, IRAT, 45 p.

C.T.F.T. — *Faidherbia albida*, Monographie, 1988. Nogent-sur-Marne, France, C.T.F.T., 72 p.

GIFFARD (P.L.), 1974. — L'arbre dans le paysage sénégalais. Sylviculture en zone tropicale sèche. Dakar, Sénégal, C.T.F.T.

JANODET (E.), 1990. — Les parcs à *Faidherbia albida* sur le terroir de Watinoma (Burkina Faso). Nancy, France, ENGREF, 70 p.

LERICOLLAIS (A.), 1989. — La mort des arbres à Sob, en pays sereer (Sénégal). *In :* Tropiques, lieux et liens. Paris, France, ORSTOM, p. 187-197.

LIBERT (C.), 1990. — Influence des parcs arborés sur la production des cultures associées. Maroua, Cameroun, IRA-C.R.F., 74 p.

LOUPPE (D.), 1990. — Influence de *Faidherbia albida* sur les rendements agricoles. Nogent-sur-Marne, France, CIRAD-C.T.F.T., 15 p.

PELISSIER (P.), 1964. — Types et genèses des paysages de parc élaborés par l'agriculture africaine. XX^{e} Congrès International de Géographie. Abstracts of paper, Londres, Angleterre.

PELISSIER (P.), 1980. — L'arbre dans les paysages agraires de l'Afrique Noire. L'arbre, la fonction et le signe. Cahiers de l'ORSTOM, Série Sc. humaines, vol. XVII. Paris, France, ORSTOM, p. 131-136.

PELISSIER (P.), 1995. — Campagnes africaines en devenir. Paris, France, Ed. Arguments, 318 p.

POULAIN (J.F.), 1984. — Influence de l'*Acacia albida* Del. sur les facteurs pédoclimatiques et les rendements des cultures. Bambey, Sénégal, IRAT.

PULLAN (R.A.), 1974. — Farmed parkland in West Africa. Savanna, vol. III, p. 119-141.

RAISON (J.P.), 1988. — Les « parcs » en Afrique, Etat des connaissances et perpectives de recherches. Encyclopédie des techniques agricoles en Afrique Noire. Paris, France, EHESS, 117 p.

SEIGNOBOS (Ch.), 1978. — a) *Acacia albida* et *Vitellaria paradoxa*, témoins de deux agrosystèmes. b) Paysages et civilisations agraires (Tchad et Nord-Cameroun).Essai de typologie. Annales de l'Université du Tchad, Njamena, Tchad, p. 61-93.

SEIGNOBOS (Ch.), 1982. — Végétations anthropiques dans la zone soudano-sahélienne : la problématique des parcs. Revue de Géographie du Cameroun, vol. III (1), Yaoundé, Cameroun. p. 1-23.

SEIGNOBOS (Ch.), 1988. — L'arbre et l'ethnie. Quelques comportements passés et actuels (Nord-Cameroun). Séminaire de Maroua sur la désertification, fév. 1988, Maroua, Cameroun, 11 p.

SEIGNOBOS (Ch.), 1993. — L'évolution des parcs arborés des monts Mandara (Nord-Cameroun). Symposium « Les Parcs agroforestiers des zones semi-arides d'Afrique de l'Ouest ». ICRAF-CILSS-LTC, Ouagadougou, 25-27 oct. 1993, 16 p.

WENTLING (M.G.), 1983. — *Acacia albida* : arboreal keystone of successful agropastoral systems. *In :* Sudano-Sahelian Africa. ATD Long-term Training, 38 p.

C. SEIGNOBOS
ORSTOM
BP 406
Maroua (Cameroun)

Crédit photos C BERNARD, R PELTIER
Dessins C SEIGNOBOS

NOTES

(1) Nous renvoyons à P. PELISSIER (1964, 1980) et à Ch. SEIGNOBOS (1978, 1982).

(2) Ch. LIBERT estime que l'apport des animaux contribuerait à 20 % de l'apport de matière organique par an (Etude des parcs d'*Acacia albida* de Tokombéré. Nord-Cameroun, 1990, p. 48-49).

(3) D'après D. LOUPPE, 1990, p. 6 « ... une augmentation globale de 20 % des rendements du mil pourrait être obtenue,... par un parc à *Faidherbia albida* de trente-trois arbres (fortement émondés) à l'hectare ou un taux de couverture des houppiers de 25 % (projection au sol de la surface du houppier) ».
On note une augmentation significative du poids des épis, du poids des grains par épis sous le houppier et, en revanche, une diminution du nombre d'épis par poquets et par mètre carré à la limite du houppier.

(4) Ce que résume le chef de Warba : « Le parc de *Faidherbia albida* attire la pluie, puise l'eau dans la terre, freine l'harmattan et donne la force au sol car leurs feuilles sont comme le fumier pour le mil ».

(5) Ils n'en restent pas moins les premiers consommateurs. Il existe un véritable conditionnement des petits ruminants au bruit que fait la chute de cette gousse, rouge orangé, sur le sol.

(6) Le rapport gousses/fanes est modifié par l'arbre et on constate une diminution de la production de gousses d'arachides sous le houppier. Elle serait due à une réduction de l'ensoleillement au moment de la floraison et à un déséquilibre entre l'azote et le potassium et/ou le phosphore (D. LOUPPE, 1990, p. 11).

(7) Les cultivateurs fulBe (de Digir) commentent ainsi cette situation : « Sous les grands casDe, les jeunes prospèrent mal, ils sont repoussés à la périphéries, là les graines peuvent mieux produire et les tiges se développer. »

(8) Maux que l'on retrouve chez les FulBe à l'encontre de ceux peu assidus à la première prière.

(9) Cf. J. DOAT. Le pouvoir calorifique des bois tropicaux. Bois et Forêts des Tropiques, n° 172, 1977, p. 33-55.

(10) Lorsqu'il est abattu, on le couvre de paille à laquelle on met le feu. On le laisse reposer pendant toute une saison des pluies pour le travailler ensuite. Le corps du tambour sera enduit d'huile de caïlcédrat afin de le préserver d'attaques de termites.

(11) L'association *Faidherbia albida* et maladies de peau se retrouve dans maints groupes ethniques du Nord-Cameroun. Elle intervient dans un sens bénéfique à travers la pharmacopée. Chez les Masa, on utilise une décoction d'écorce de *Faidherbia albida* en ablutions pour soigner la gale. Les FulBe et les Bornouans font également bouillir cette écorce et recueillent l'eau pour la boire et aussi pour servir à des ablutions dans le cas de maladies appelées tarzagiire et saDawre Ballere (lèpre noire) qui recouvrent des mycoses et des ichtyoses.

(12) Ce n'est pas le seul. Pour *Khaya senegalensis*, dont les fruits sont appropriés et qui donnaient une huile vestimentaire, on fait également appel à un vieil homme, ne pouvant plus procréer, pour donner les premiers coups de hâche et accomplir un petit rituel.

(13) Une inversion dans le rapport négatif femme/*Faidherbia albida* s'opère avec le rituel de possession du fakalaw. Le *Faidherbia albida* demeure, dans ses connotations, un arbre de plaine si bien que, dans les années 60 lors des descentes massives et forcées des montagnards, les femmes « contractèrent » une forme de possession, venue de chez les Giziga Kaliaw. Lors de leur séjour ou de leur passage en plaine, certaines d'entre elles ayant stationné sous de gros arbres étaient atteintes par le fakalaw. Ces femmes se précipitaient alors sur un *Faidherbia albida* pour enserrer le tronc ; c'est le diagnostic ritualisé du fakalaw. Les hommes doivent alors leur donner des pagnes de couleur et les faire soigner à l'aide de certaines musiques, avec des flûtiaux de tiges de mil, au milieu d'un collège de femmes. On place sur la tête des intéressées des couronnes d'épines de *Faidherbia albida* qui sont censées éloigner le fakalaw. Les autels fakalaw, très nombreux, sont souvent placés au pied d'un *Faidherbia albida* et incluent du sable prélevé dans les mayo et des objets venus de la plaine.

(14) Autrefois, chez les Bana (monts Mandara centraux), l'interdiction de couper *Faidherbia albida* était assortie pour le contrevenant d'une menace de la variole dans le village ou de mort lors d'une épidémie de variole.

(15) Dans le cas du karité, c'est moins une faiblesse des densités de peuplement et la présence d'une alternative passée de matière grasse animale (avec l'élevage de taurins, puis celui de zébus peuls) que le développement très ancien de cultures de type oléifère. Ainsi *Polygala butyracea* fournit encore « l'huile des Duru », voisins des Dowayo, et *Hyptis spicigera* fut abondamment cultivé (la variété cultivée ne présente qu'une légère différence avec la sauvage) et le demeure encore chez quelques vieux Dowayo.
Hyptis spicigera a ouvert la voie à la diffusion de différents sésames, rouges et noirs d'abord, dans les mêmes conditions de culture et d'utilisation. L'arachide est venue enfin parachever cette gamme de productions oléifères.

(16) Certains agents de l'administration (sous-préfecture de Meri, Maga, Yagoua...) prennent le prétexte d'une interdiction d'abattage des *Faidherbia albida* par les Services des Eaux et Forêts pour organiser un racket. Ils viennent sur dénonciation réclamer 500 F ou 1 000 F à tout cultivateur ayant émondé (l'émondage étant jugé excessif) un *Faidherbia albida* sur son champ. Cette ingérence administrative fait que les Masa et les Bege, par exemple, éprouvent de la difficulté à gérer leur parc comme par le passé, l'émondage avant culture ou à certaines périodes de stress climatique étant ressenti comme impératif.

(17) L'idée développée par C. DANCETTE est d'organiser le paysage avec des bandes boisées en *Faidherbia albida*, sous lesquelles seraient cultivées les céréales, alors que les légumineuses, comme l'arachide, occuperaient les interbandes. C. DANCETTE, 1968. Note sur les avantages d'une utilisation rationnelle de l'*Acacia albida* au Sénégal. Bambey, Sénégal, IRAT, CNRA, 6 p.

RÉSUMÉ

Afin de préciser la place qu'occupe *Faidherbia albida* dans les systèmes agraires des différents groupes humains du nord-Cameroun, l'auteur a pratiqué une série d'entretiens, d'enquêtes historiques et de relevés de terroirs. Il en donne ici les principaux résultats.

Dans leur grande majorité, les paysans donnent à *Faidherbia albida* les avantages bien connus dans la littérature : complément de nourriture du bétail par les gousses et enrichissement du sol. Son effet sur la régulation du bilan hydrique du sol est évoqué ainsi : « cet arbre ramène l'eau des profondeurs vers la surface ». Les cultivateurs de mil et de sorgho pensent qu'il contribue à limiter les attaques parasitaires de *Striga hermonthica*. La plupart pensent que ce sont les bœufs qui disséminent les graines de l'espèce dans leurs fèces, alors que les petits ruminants les broient Cependant, certains groupes ne favorisent pas la propagation de l'espèce, voire détruisent d'anciens parcs. En effet, dans le cas de cultures de contre-saison, l'arbre qui a repris son feuillage dès la fin de la saison des pluies exerce une ombre particulièrement néfaste aux cultures, en cette période fraîche de jours courts. C'est le cas des cultures de sorgho muskuwaari ou de légumes irrigués.

Les sociétés agraires ont généralement favorisé l'extension de l'espèce et discipliné leurs bûcherons en créant de nombreux interdits sur l'utilisation de ce bois. Le parc a accompagné plusieurs groupes humains dans leur extension, mais de façon contrastée. En plaine, le modèle du parc masa est constitué d'une strate haute de *Faidherbia albida* dominant un sous-étage de *Ziziphus mauritiana* traité en têtard. En montagne, *Faidherbia albida* est intégré aux parcs très complexes associés aux cultures sur terrasse, dont il ne constitue pas l'élément dominant. Perçu comme favorable à la production de sorgho, l'arbre est régénéré et traité rigoureusement, en vue de produire également du bois. Protégé par des interdits et redouté pour ses propriétés magiques, *Faidherbia albida* est sous la responsabilité des chefs de terre. La descente des montagnards en plaine s'est accompagnée de la création très rapide d'un parc presque monospécifique de *Faidherbia albida*, en particulier sur les piémonts où ces agriculteurs se partagent l'usage du sol avec les éleveurs peuls sédentaires. Un apport de matière organique par l'arbre et par le bétail est en effet nécessaire sur ces sols pour en conserver la fertilité, ce qui est vital lorsque la pression démographique augmente

Si la zone soudano-sahélienne voit une extension globale du nombre de *Faidherbia albida*, tel n'est pas le cas au nord et au sud, dans des régions peu peuplées et aux habitudes agraires différentes. En zone sahélienne, ni les champs de brousse extrêmement extensifs, ni les cultures de contre-saison, ni même les minuscules champs de case extrêmement fumés par les troupeaux, ne nécessitent une association avec *Faidherbia albida*. En zone soudano-guinéenne, la culture de sorgho à cycle long dont la maturité correspond à la feuillaison de l'arbre, ainsi que des pratiques également extensives, ne favorisent pas la construction de parcs à *Faidherbia albida*. Mais après l'arrivée de migrants de la zone soudano-sahélienne, ceux-ci commencent à reproduire leurs systèmes agraires

Après avoir lutté contre la présence d'arbres dans les champs, faussement accusés de gêner la culture attelée, l'administration protège aujourd'hui *Faidherbia albida*, mais elle le fait parfois maladroitement, en interdisant la récolte du bois sur un arbre qu'un paysan a élevé dans ce but. Pour conclure, l'auteur estime que malgré ses avantages *Faidherbia albida* n'est pas une panacée qui doit être imposée partout et à tous. Les incitations à sa plantation et à sa gestion peuvent constituer un substitut aux anciennes disciplines agraires en voie d'oubli, si le climat socio-administratif qui les accompagne est favorable.

Mots-clés : *Faidherbia albida*. Agroforesterie. Arbre à buts multiples. Gestion des ressources. Sociologie rurale.

ABSTRACT

In order to define the place of *Faidherbia albida* in the agrarian systems of different human populations of Northern-Cameroon, the author carried out a series of discussions, historical surveys, and field surveys. The main results are presented below.

For the most part, peasants attribute the advantages which are well-known in the literature to *Faidherbia albida* : a nutritional complement for cattle (by its fruits) and soil enrichment. Its effect on the regulation of the water balance of the soil is stated in the following terms « this tree brings water from the deep underground to the surface ». Sorghum and millet farmers think that *Faidherbia albida* helps to control the invasion of *Striga hermonthica*. Most of them think that *Faidherbia albida* seeds are disseminated by cattle in their faeces, while small ruminants chew them up. However, certain population groups do not favour the propagation of the species and even destroy existing parklands. Actually, in the case of dry season crops, the tree which had redeveloped its leaves at the end of the rainy season provides shade which is especially detrimental to crops during this cool period of shorter days. This is the case with muskwari sorghum or irrigated vegetables.

Rural groups have generally been in favour of the species extension and have created a number of regulations on the use of the wood. The parkland has been extended by many human groups but in contrasting approaches. In the plain, the model of the Masa parkland is constituted by a higher stratum of *Faidherbia albida* which dominates a sub-stratum of often pruned *Ziziphus mauritiana*. In the mountains, *Faidherbia albida* is integrated into very complex parklands which are associated with terrace farming. *Faidherbia albida* in this case does not constitute the dominant element. Seen as being able to favour sorghum production, the tree is regenerated and rigourously maintained for wood production as well. Protected by a number of regulations and feared for its magic powers, *Faidherbia albida* is under the responsibility of the land owner. The movement of the mountain dwellers down to the plaines was accompanied by a very rapid creation of *Faidherbia albida* parklands, almost monospecific, especially at the foot of the mountains where these farmers share land with sedentary peul herdsmen. A supply of organic matter from trees and cattle is necessary for the conservation of the fertility of these soils. This is vital in the face of increasing demographic pressure.

If *Faidherbia albida* has experienced a general extension in the Sudano-Sahelian zone, it is not the same case in the northern and southern sparsely populated areas where farming practices are different. In the Sahelian zone, neither the extremely extensive shifting cultivation, nor the dry season crops, nor even the small-sized home gardens which are highly fertilized by animals, require any association with *Faidherbia albida*. In the Sudano-Guinean zone, long cycle sorghum cultivation, the maturity of which corresponds with the tree's leaf development, as well as extensive agricultural practices do not favour the construction of *Faidherbia albida* parks. But migrants who come from the Sudano-Sahelian zone have started to reproduce their agricultural systems.

Nowadays, administrative authorities, after fighting against the presence of trees in farms under the pretext that trees are incompatible with ploughing, protect *Faidherbia albida* parks. This protection is, however, sometimes awkwardly carried out as in the case where the farmer is prevented from fetching wood from a tree which he partly maintained for that purpose. In conclusion, the author thinks that *Faidherbia albida*, despite its advantages, is not a universal remedy which should be imposed everywhere on everybody. Given a favourable socio-administrative climate, inducements to plant and manage the species could constitute a substitute for the old agrarian disciplines which are on their way out.

Key words : *Faidherbia albida*. Agroforestry. Mutipurpose trees. Resources management. Rural sociology

PLACE DU PARC À *FAIDHERBIA ALBIDA* DANS UN TERROIR SOUDANIEN *

Le cas d'un village sénoufo au nord de la Côte-d'Ivoire

par Christelle BERNARD, laboratoire S.I.G., CIRAD-Forêt
Nklo OUATTARA, forestier, IDEFOR/D.F.O.
Régis PELTIER,agroforestier, CIRAD-Forêt

Le terroir de Dolékaha est occupé en grande partie par un parc à néré-karité, comme il en existe dans toute la zone soudanienne, mais ce village présente la particularité de posséder également un parc à faidherbia périvillageois.

* Une version de cet article a été publiée dans la revue BFT n° 244, 2e trimestre 95, sous le titre « Parcs agroforestiers dans un terroir soudanien ».

L'IDEFOR/D.F.O. (Institut des Forêts/Département des Recherches Forestières), en collaboration avec le CIRAD-Forêt, travaille depuis une dizaine d'années dans la région de Korhogo, où il a en particulier installé des essais de comportement de très nombreuses espèces agroforestières.

Afin de bien cibler ses futurs travaux de recherche et d'appui au développement, cet organisme a décidé de lancer, à partir de l'année 1993, une étude sur un village de la région, à savoir Dolékaha.

Ce choix était principalement justifié par l'importance et par la variété de la composante arborée présente sur son terroir et, en particulier, par l'un des parcs à *Faidherbia albida* les plus méridionaux décrits à ce jour en Afrique de l'Ouest. Il s'agissait de comprendre pourquoi des arbres avaient été conservés ou installés dans les différentes unités du paysage et comment avait évolué la composante arborée de l'espace agrosylvopastoral au cours des dernières décennies. Plus précisément, on souhaitait comprendre les raisons pour lesquelles *Faidherbia albida,* espèce gérée depuis plus d'un siècle dans un parc périvillageois, n'avait pas été étendue sur le reste du terroir à l'occasion de récentes mises en culture, et pourquoi d'autres espèces avaient été préférées par les villageois. Pour ce faire, une compréhension globale du fonctionnement du village s'avérait au préalable nécessaire.

LA RÉGION DE DOLÉKAHA

- **Données géographiques**

Le village est situé au nord de la Côte-d'Ivoire, à 9° de latitude nord, sur un plateau faiblement vallonné de 400 m d'altitude.

Sur le substrat granitique se sont développés des sols ferralitiques sableux à argilo-sableux, faiblement dessaturés, caractérisés par une cuirasse latéritique peu profonde (en général 30-50 cm). Le climat est de type soudano-guinéen (AUBRÉVILLE) avec une saison des pluies (d'avril à octobre), la moyenne des précipitations pour les vingt dernières années étant de 1 200 mm/an ; l'ETP est de 1 800 mm/an et la température moyenne de 27 °C. La région appartient au secteur phytogéographique sub-soudanais caractérisé par la forêt dense sèche comme végétation climacique.

- **Historique du village**

Dolékaha (le village du vieux Do) fut créé au XIX^{e} siècle par les Nafara (sous-groupe du peuple animiste sénoufo) qui s'étaient réfugiés en grand nombre au sud du fleuve Bandama, repoussés par l'extension Malinké et en particulier par les armées du chef musulman SAMORY TOURÉ. A partir de cette époque, les Sénoufo se sont majoritairement convertis à l'islam mais ont conservé de nombreuses pratiques animistes, parmi lesquelles les offrandes aux forces naturelles dans les forêts sacrées et l'initiation au rite du Poro, faite par les jeunes gens dans certaines de ces forêts, scrupuleusement respectées par tous.

Korhogo, capitale régionale des Sénoufo, fut épargnée par SAMORY TOURÉ et constitue le centre d'une région dont la densité de population, déjà élevée au XIX^{e} siècle, a atteint près de 90 habitants/km^2 au moment de l'indépendance, pour décroître ensuite régulièrement *, du fait d'une forte émigration vers les villes et les plantations du sud du pays. De nos jours, en raison de la crise de l'économie du Sud ivoirien (café, cacao, bois, industrie), cette émigration s'est ralentie et, dans certains villages, la population a recommencé à augmenter.

- **Les pratiques culturales sénoufo**

Autrefois agriculteurs-cueilleurs, les Sénoufo ont depuis fort longtemps acheté des bœufs aux Peuls transhumants. Certains de ces derniers se sont sédentarisés dans les villages, dont ils sont devenus les bergers du troupeau. Voici quelques décennies, Dolékaha, comme la plupart des villages soudaniens, basait son système agraire sur la complémentarité entre la cueillette en savane (bois, gibier, poisson, miel, brèdes, fruits...), l'élevage d'un troupeau pâturant alternativement la savane, les résidus de culture et les bas-fonds, une agriculture permanente aux abords du village (zone de sécurité, fertilisée par les déjections du troupeau) et enfin une agriculture itinérante en périphérie.

Cette vue aérienne de novembre 1993 montre le village de Dolékaha (au centre) entouré de culture de céréales sous parc à faidherbia. Juste en arrière du village se trouve le bois sacré, îlot de forêt dense sèche.

- **Le bouleversement de l'arrivée du coton et des plantations forestières**

A partir des années 60, la Compagnie Ivoirienne de Développement du Textile (C.I.D.T.) fut chargée de diffuser la culture cotonnière dans la région nord du pays, pendant que la Société d'Assistance Technique pour la Modernisation Agricole de la Côte-d'Ivoire (SATMACI) implantait, entre autres, de vastes parcelles de teck et d'anacardier dans les villages de la région, comme ce fut le cas de Dolékaha.

* Les statistiques de 1980 donnent une densité de 40 habitants/km^2 mais elles ne portent pas exactement sur la même zone, si bien que des comparaisons sont difficiles à faire.

ÉTUDE DÉMOGRAPHIQUE ET SOCIOLOGIQUE PRÉALABLE

- **Démographie**

Les données sur le village de Dolékaha étant rares et peu fiables, il s'avéra nécessaire d'y faire un recensement. C. BERNARD (1993) montra que la population était composée de 121 habitants, dont 50 % de jeunes de moins de 17 ans. On constata également que cette population avait augmenté de 13 %, depuis 1975.

- **Sociologie**

D'après une enquête sous forme d'entretiens, il s'est avéré que les terres du village sont sous la responsabilité de six chefs de terres ou *tarfolos* *, originaires de Dolékaha, dont trois y résident actuellement. Deux enclaves de terre ont été recensées, l'une se situant à 500 m à l'ouest du village et l'autre, proche du village de Konéguékaha, à 5 km au nord-ouest. Ces territoires sont cultivés par cinq chefs d'unités de production ou *dalafolos* **, certains *tarfolos* assumant eux-mêmes la gestion, d'autres louant tout ou partie de leurs terres. Dans une unité de production, cœxistent des champs individuels et des champs communautaires cultivés par différents groupes, comme certaines associations de femmes.

INVENTAIRE DES PARCELLES CULTIVÉES ET DES ARBRES DU TERROIR

MÉTHODE

- **Levé des parcelles et enquête sur les cultures**

La limite des terres placées sous l'autorité du chef de Dolékaha fut levée topographiquement à la boussole et au décamètre, ainsi que celle de toutes les parcelles cultivées. En même temps, chaque parcelle fit l'objet d'une enquête auprès de son exploitant pour noter son historique, sa date de défrichement, le nombre d'années de mise en culture, le type des cinq dernières cultures et l'itinéraire technique de la campagne en cours...

- **Méthode d'inventaire des arbres**

La limite des forêts SATMACI, du bois sacré et de la savane arborée constituée en grande partie de jachères a été levée, mais les arbres n'y ont pas été inventoriés faute de temps. Sur l'espace cultivé un inventaire complet des espèces arborées a été réalisé. Pour tous les arbres de plus de 22 cm de circonférence (diamètre = 7 cm), on a reconnu de façon certaine l'espèce, on a mesuré la circonférence et on a levé la position topographique exacte dans la parcelle.

- **Choix des outils informatiques**

Toutes ces données géographiques furent traitées, puis cartographiées grâce à un logiciel spécialement créé pour la représentation des terroirs de la région ***. Il s'avéra cependant plus facile d'importer directement les fichiers de données géographiques et descriptives sur un logiciel commercial de type « Système d'Informations Géographiques » (S.I.G. Atlas) pour l'analyse statistique et la cartographie. En effet, en raison de l'inexpérience des auteurs dans ce domaine et de la rareté des données dans la littérature, il a été nécessaire de tâtonner sur le choix des méthodes et des outils informatiques. Le choix de l'utilisation d'un SIG a été fait en raison de la facilité d'utilisation de cet outil qui permet de croiser des données relevant aussi bien des sciences naturelles que des sciences humaines et de visualiser très clairement les corrélations.

RÉSULTATS OBTENUS POUR LES CULTURES

- **Cartographie des cultures**

La carte 1 représente les limites de parcelle et des types de cultures pratiqués en 93.

On constate la présence d'une auréole de culture permanente autour du village, constituée de céréales (mil, sorgho) souvent associées à des légumineuses

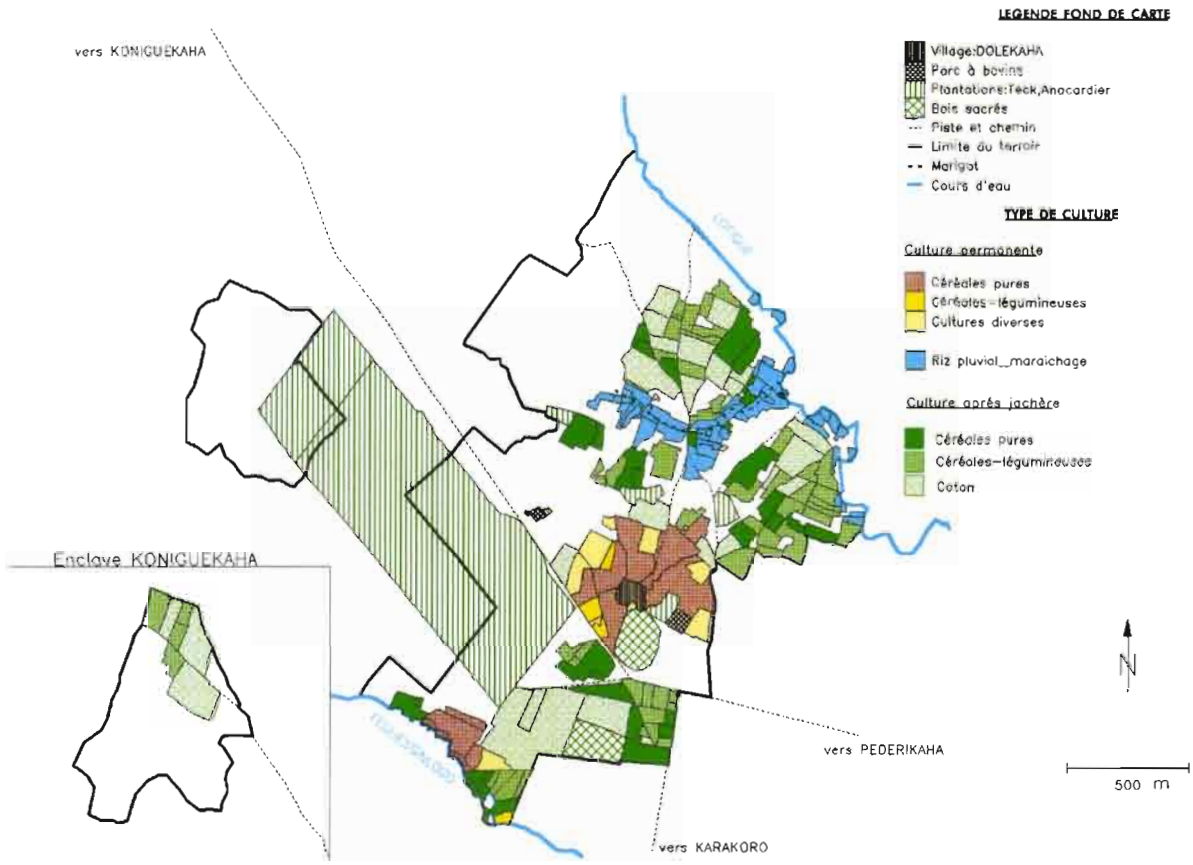
* Le *tarfolo* peut être considéré comme un propriétaire traditionnel d'une portion de terre. L'attribution se fait par héritage matriarcal (tout d'abord au frère survivant le plus âgé, puis au neveu le plus âgé, fils d'une sœur). Le *tarfolo* donne l'autorisation de culture à différents chefs d'unités de production, mais il se réserve la culture des arbres.

** Le *dalafolo* est chef d'une famille élargie ; il dirige la culture des différentes parcelles, les cultures vivrières étant collectives et les cultures de rente, individuelles.

*** Ce logiciel a été créé par Xavier LE ROY (ORSTOM, Montpellier) qui l'a beaucoup amélioré depuis cette époque et qui devrait le mettre en vente en 1996.

CARTE 1

Les différents types de culture pratiqués à Dolékaha en 1993.



(arachide, pois de terre). Ces cultures sont pratiquées sur billons levés manuellement et correspondent très probablement à une tradition assez ancienne des Sénoufo, enrichie par l'introduction de cultures nouvelles (maïs, arachide).

Les bas-fonds sont occupés par la culture du riz (pluvial ou irrigué de contre saison) et par le maraîchage de contre-saison.

Le reste du terroir cultivé en 93 est occupé par un « patchwork » de champs de coton en culture pure et de céréales parfois associées à des légumineuses, venant très souvent en rotation après le coton. Généralement, les cycles culturaux dans cette zone comprennent des jachères assez longues de l'ordre d'une douzaine d'années.

- **Calcul des surface cultivées**

L'utilisation du SIG permet un calcul très facile des surfaces des différentes unités. Le terroir du

Pieds de karité (*Vitellaria paradoxa*) présents dans des champs d'arachide associée à du maïs.

village occupe 353 ha dont 128 ha sont cultivés en 1993, soit 36 %. Les trois unités de production principales ont respectivement une superficie de 64, 32 et 15 ha. Les proportions occupées par les différentes cultures sont de 34 % pour le coton, 7 % pour le riz, 2 % pour l'arachide, le reste étant occupé par des associations de céréales entre elles (par ex. : maïs/mil/sorgho sur 20 % des terres) ou d'associations céréales/légumineuses (par ex. : maïs/arachide/sorgho, sur 10 % des terres).

RÉSULTATS OBTENUS POUR LES ARBRES

- **Espèces, densités et surfaces terrières des arbres sur l'ensemble du terroir cultivé**

Sur les 128 ha cultivés, on trouve 1 668 arbres de plus de 7 cm de diamètre, soit une densité moyenne de 13 arbres à l'hectare pour une surface terrière moyenne de 2,4 m^2/ha.

Quarante six espèces différentes ont été répertoriées (cf. tableau ci-dessous) parmi lesquelles neuf sont

TABLEAU I
Nombre et pourcentage des espèces arborées présentes sur les parcelles cultivées du village de Dolékaha

Nom des espèces	Nombre	%	Nom des espèces	Nombre	%
Acacia sieberiana	2	0,12	*Ficus gnaphalocarpa*	117	**7**
Adansonia digitata	16	0,96	Ficus platyphylla	1	0,06
Anacardium occidentale	71	**4,26**	*Ficus thonningii*	3	0,18
Andira inermis	1	0,06	*Flacourtia flavescens*	1	0,06
Anogeissus leiocarpus	18	**1,07**	*Gmelina arborea*	8	0,48
Azadirachta indica	9	0,53	*Khaya senegalensis*	1	0,06
Blighia sapida	21	**1,26**	*Lannea acida*	1	0,06
Borassus aethiopum	1	0,06	*Lannea barteri*	5	0,29
Calotropis procera	2	0,12	*Lophira lanceolata*	5	0,29
Carica papaya	2	0,12	*Mangifera indica*	118	**7,07**
Citrus aurantifolia	1	0,06	*Mitragyna inermis*	2	0,12
Chlorophora excelsa	1	0,06	*Nauclea latifolia*	3	0,18
Cola cordifolia	2	0,12	*Parinari curatellaefolia*	2	0,12
Combretum micranthum	1	0,06	*Parkia biglobosa*	459	**27,51**
Cordia abyssinica	8	0,48	*Phyllanthus discoideus*	2	0,12
Daniellia oliveri	7	0,42	*Piliostigma thonningii*	4	0,24
Diospiros mespiliformis	11	0,66	*Pterocarpus erinaceus*	3	0,18
Elaeis guineensis	9	0,53	*Spondias monbin*	1	0,06
Erythrina senegalensis	4	0,24	*Sterculia setigera*	3	0,18
Eucalyptus camaldulensis	2	0,12	*Tectona grandis*	26	**1,56**
Fagara xanthoxyloides	1	0,06	*Trichilia emetica*	1	0,06
Faidherbia albida	448	**26,85**	*Vitellaria paradoxa*	259	**15,52**
Ficus capensis	2	0,12	*Vitex doniana*	3	0,18
Nombre total d'arbres : 1 668					

représentées à plus de 1 %. Il s'agit de *Parkia biglobosa* ou néré (28 %), *Faidherbia albida* (27 %), *Vitellaria paradoxa* ou karité (16 %), *Mangifera indica* ou manguier (7 %), *Ficus gnaphalocarpa* (7 %), *Anacardium occidentale* ou anacardier (4 %), *Tectona grandis* ou teck (2 %), *Blighia sapida* (1 %), *Anogeissus leiocarpus* (1 %).

On constate donc l'extrême diversité de ce parc qui comprend à la fois un grand nombre d'espèces préexistantes de la forêt climacique et des espèces introduites par l'homme ou le bétail. Il est ainsi très curieux de trouver côte à côte une espèce sahélienne comme *Faidherbia albida* et une espèce guinéenne comme *Elaeis guineensis*.

- **Répartition des espèces : densités et représentation**

Si l'on visualise sur une carte la répartition des principales espèces d'arbres (carte 2), on s'aperçoit aisément que celle-ci n'est pas homogène. Autour du village, sur 7 ha, se trouve un peuplement beaucoup plus dense (56 arbres/ha) où prédomine nettement *Faidherbia albida* (91 % des arbres), accompagné de *Blighia sapida* (3 %) et autres fruitiers divers, locaux ou exotiques.

De ce fait, dans le reste du territoire cultivé, la densité n'est que de 10 arbres/ha dominé par le néré (36 %), le karité (21 %), les ficus et les manguiers (10 % chacun).

CROISEMENT DES DONNÉES ENTRE LES CULTURES ET LES ARBRES

- **Distinction entre deux types de parcs arborés**

Si l'on représente sur une même carte les principales espèces arborées et les grands types de systèmes de culture (carte 3, p. 180), on voit se dessiner sur le terroir cultivé de Dolékaha trois grandes unités correspondant à des systèmes agroforestiers ou non différents (C. BERNARD, R. PELTIER, 1994) :

- Les cultures de bas-fonds (riziculture pluviale, riziculture irriguée, maraîchage de contre-saison) ne sont associées à aucun arbre (il s'agit du seul système de culture qui ne soit pas un parc).

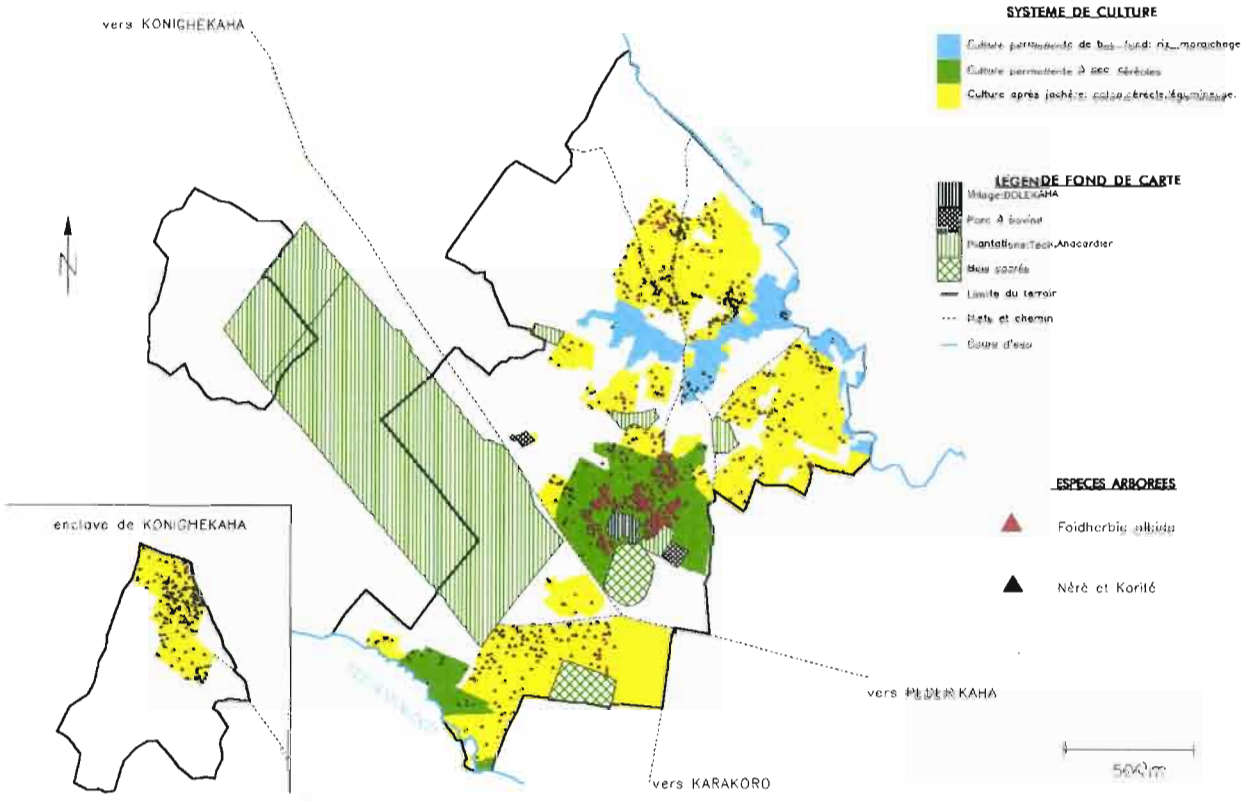
- L'auréole de 7 ha située autour du village associe un peuplement dense presque monospécifique de *Faidherbia albida* à une culture pluviale permanente de céréales, de légumineuses et de cultures dites « de case » ou « de sauces » (tabac, tomates, gombos,

CARTE 2

Répartition des différentes espèces arborées constituant les parcs.

CARTE 3

Répartition des principales espèces arborées selon le système de culture.



piments...). En saison sèche, le bétail de retour des pâturages stationne longuement sous ces *Faidherbia albida* pour glaner les gousses et brouter les branches émondées par les bergers. Il y fait, bien entendu, un grand nombre de ses déjections. Malgré tout, ces terres sont encore amendées par du fumier récolté sur les parcs à bétail. Ce système est donc typiquement un parc à *Faidherbia albida* périvillageois comme il en existe dans tout le Sahel autour des vieux villages construits par les peuples d'agro-pasteurs (J.-P. RAISON, 1988).

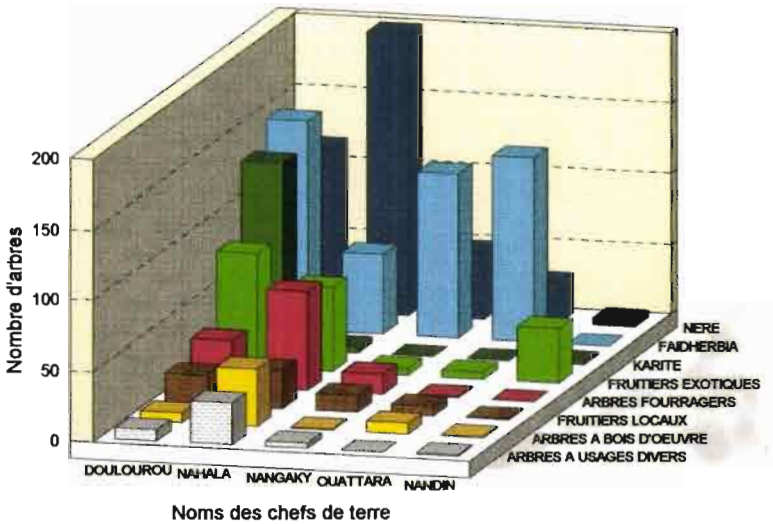
• Les cultures de l'anneau périphérique sont associées à un peuplement arboré assez clair où domine le néré associé principalement au karité. Ces cultures sont principalement constituées par le maïs et le coton, le plus souvent cultivés en rotation. La durée de mise en culture varie de 2 à 15 ans, suivant la fertilité du sol et les façons culturales. Ensuite, elles sont laissées en jachère. Si l'on considère que le reste du terroir (hors plantations SATMACI et bois sacré) est constitué essentiellement par des jachères, on peut dire que cet anneau comprend environ 100 ha de culture et 100 ha de jachère, soit moitié-moitié. Il s'agit typiquement d'un parc à néré-karité associé à une culture alternant avec la jachère. Décrit par de nombreux auteurs en zone soudanienne dont M. AGBAHUNGBA et D. DEPOMMIER (1989), ce parc est lié à l'alternance jachère/culture, la première permettant le semis et l'installation des jeunes arbres et la seconde leur développement à l'abri du feu et de la concurrence des herbacées pérennes.

TYPE D'ARBRES CONSERVÉS PAR LES DIFFÉRENTS CHEFS DE TERRE

La figure 1 illustre le fait que les chefs de terre font un choix sélectif des arbres à conserver suivant leurs objectifs de production. Presque tous ont besoin de champs de case, sur lesquels ils conservent des *Faidherbia albida,* et s'intéressent au néré. Par contre, leur intérêt est beaucoup plus nuancé pour des espèces comme le karité ou les fruitiers exotiques, en l'occurrence l'anacardier : ces arbres ne sont associés aux cultures que par une minorité des chefs de terre.

FIGURE 1

Répartition des groupes d'espèces arborées selon les chefs de terre.



DYNAMIQUE DES POPULATIONS D'ARBRES DE PARC

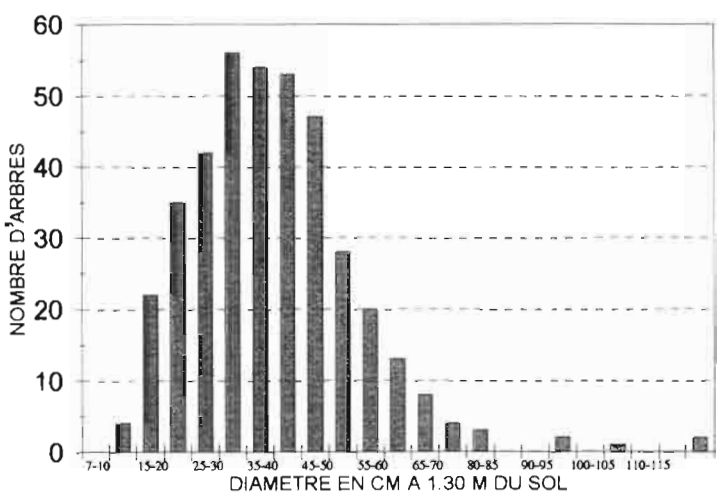
■ *Faidherbia albida*

- **Peu de jeunes arbres en dehors de la périphérie du parc**

Si l'on représente le nombre de *Faidherbia albida* en fonction du diamètre du tronc (fig. 2), on constate que celui-ci va en décroissant de la classe 30-35 cm à la classe 7-10 cm (la plus petite classe mesurée, car le diamètre minimal retenu est de 7 cm). Il y a donc relativement moins « d'adolescents » que d'« adultes ». On n'a pas de chiffres sur les semis, rejets et touffes de drageons, qui sont très nombreux d'après une estima-

FIGURE 2

Faidherbia albida : nombre d'arbres par classes de diamètre à 1,30 m du sol.



tion visuelle. L'influence anthropique est donc manifeste : seule une petite proportion des « candidats » potentiels est sélectionnée par les agriculteurs pour être éduquée et conservée. Du côté des gros diamètres, la courbe est bien équilibrée, ce qui montre l'ancienneté du parc et l'absence d'exploitation d'arbres adultes. La cartographie de cette espèce en fonction du diamètre du tronc à 1,30 m du sol (cf. carte 4) montre qu'une majorité de jeunes *Faidherbia albida* sont positionnés à l'extérieur des zones de concentration des gros arbres, ce qui traduit une extension progressive du parc vers sa périphérie et peut-être également la difficulté de régénérer des jeunes arbres à l'abri des plus vieux.

- **Ce sont les chefs de terre qui décident ou non de rénover leurs parcs**

On peut faire une analyse plus fine, en regardant la répartition des différentes classes de diamètre de *Faidherbia albida* en fonction des quatre chefs de terres se partageant le parc (fig. 3).

Par exemple, la courbe de répartition des arbres de M. DOULOUROU montre que ce chef de terre possède un parc important et en voie de reconstitution. Par contre, le parc de M. NAHALA est vieillissant. La plupart des courbes montrent un profil en dents de scie, surtout du côté gauche (jeunes arbres). Ceci prouve que la stratégie des chefs de terre varie au cours du temps ; il y a des périodes où ils ont gardé moins de jeunes arbres, peut-être à l'occasion d'un héritage, d'un changement dans les méthodes de culture (introduction du labour...). Mais ces aspects n'ont pas été approfondis.

■ Néré et karité

Les courbes de la figure 4 montrent également qu'il y a un recrutement assez important de jeunes arbres pour ces deux espèces. La croissance du néré étant plus rapide que celle du karité, la courbe correspondante est décalée vers la droite mais a le même profil général.

CARTE 4

Répartition de *Faidherbia albida* par classes de diamètre à 1,30 m du sol.

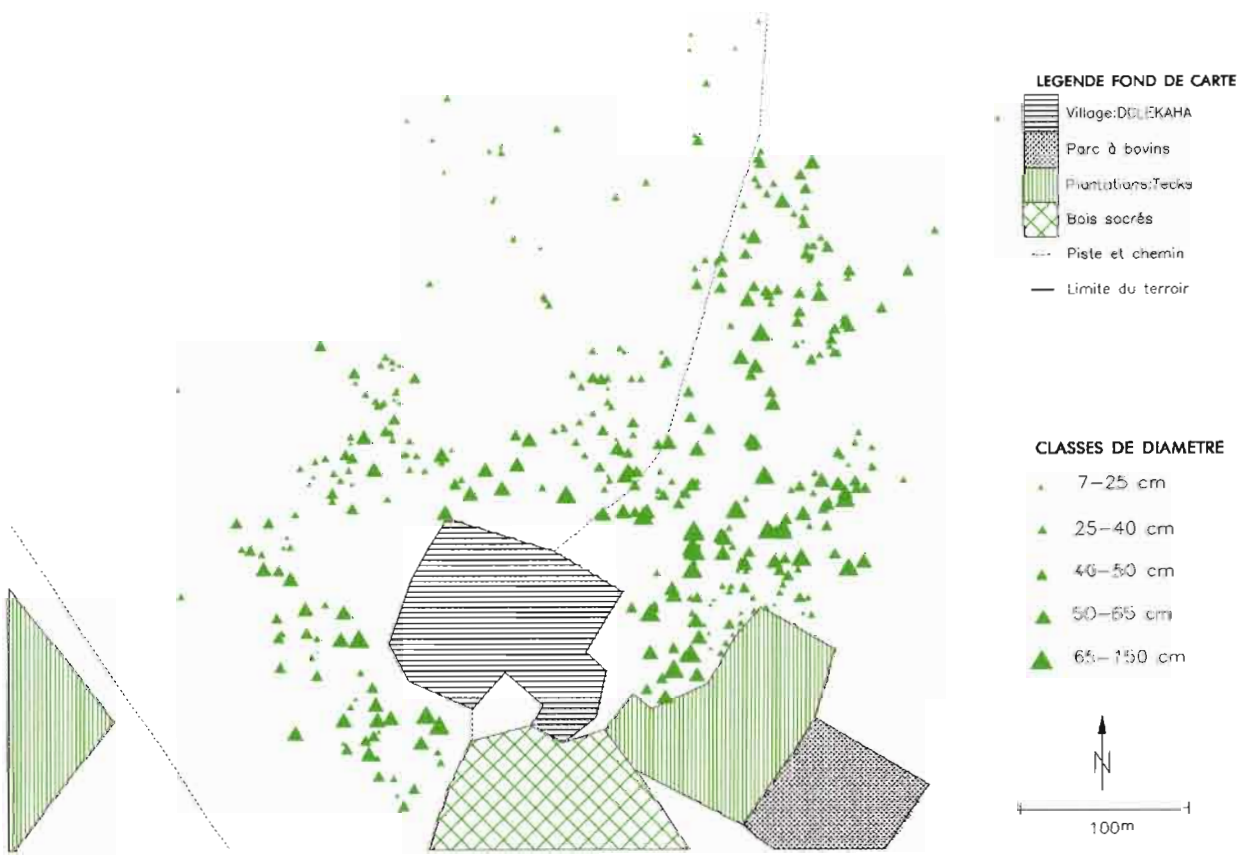


FIGURE 3

Faidherbia albida : nombre d'arbres par classes de diamètre selon les chefs de terre.

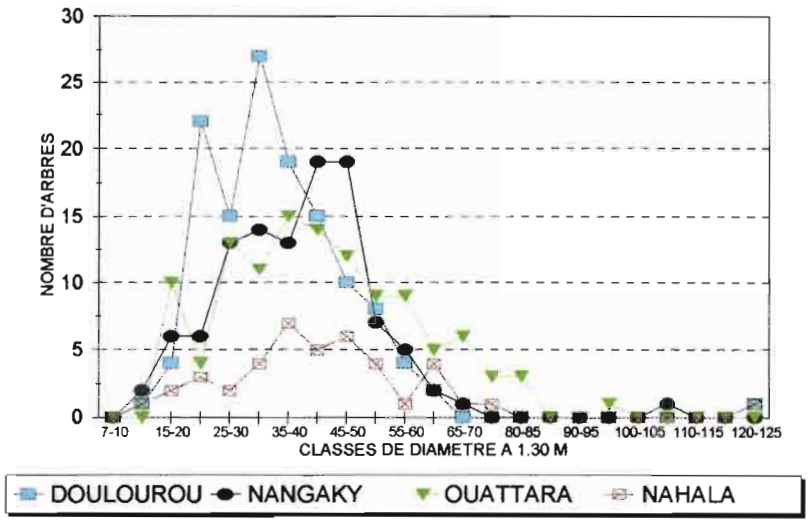
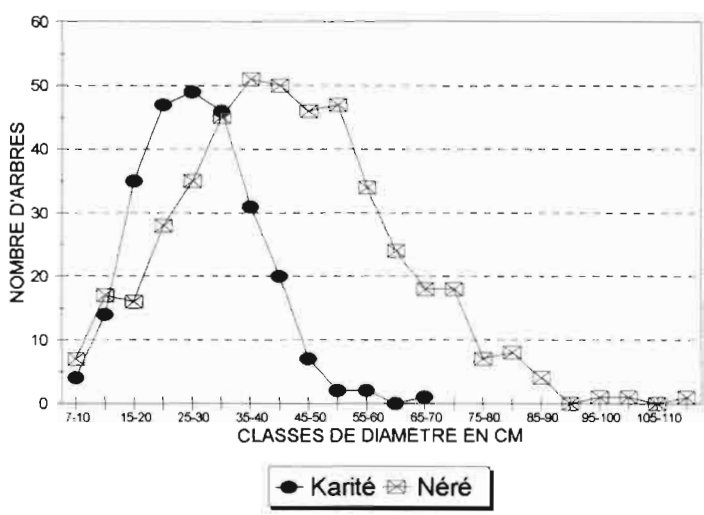


FIGURE 4

Nombre de karités et de nérés par classes de diamètre.

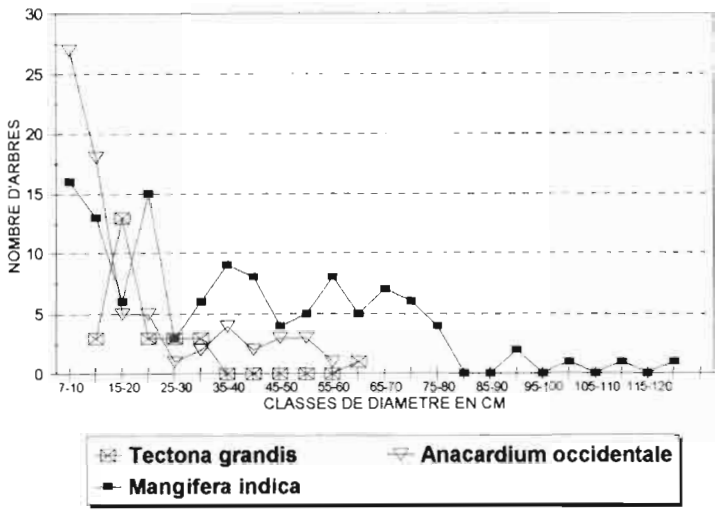


■ Espèces exotiques

Pour ce qui concerne les espèces exotiques et en particulier les fruitiers (anacardiers et manguiers), la figure 5, p. 184, nous montre qu'il y a un important effort de plantation depuis quelques années. C'est en particulier le cas de l'anacardier dont la population est beaucoup plus jeune que celle de manguier.

FIGURE 5

Nombre d'arbres de trois espèces exotiques par classes de diamètre à 1,30 m.



ÉTUDE SUR L'ÉVOLUTION DES PARCS AU COURS DES 30 DERNIÈRES ANNÉES

COMPARAISON DE PHOTOS AÉRIENNES

■ Méthode

Une étude a été réalisée sur des photos aériennes de 1962. C'est ainsi que les arbres visibles par stéréoscopie ont été reportés sur un fond de carte du terroir de Dolékaha.

■ Résultats

En comparant la carte des arbres en 1962 à celle de 1993 (carte 5), on constate principalement les faits suivants :

• En 1962, le bas-fond était déjà dépourvu d'arbres. Il est vrai que même dans les savanes arborées non anthropisées de la région (parcs nationaux...) les bas-fonds inondables sont très pauvres en végétation.

• Les bois sacrés ont peu évolué.

• Le parc à *Faidherbia albida* a gardé en gros la même surface au cours des 30 dernières années.

• Par contre, le parc à néré-karité a véritablement été construit pendant cette période. En 1962, il y avait beaucoup moins d'arbres mais les zones cultivées se répartissaient sur l'ensemble du terroir.

■ Discussion

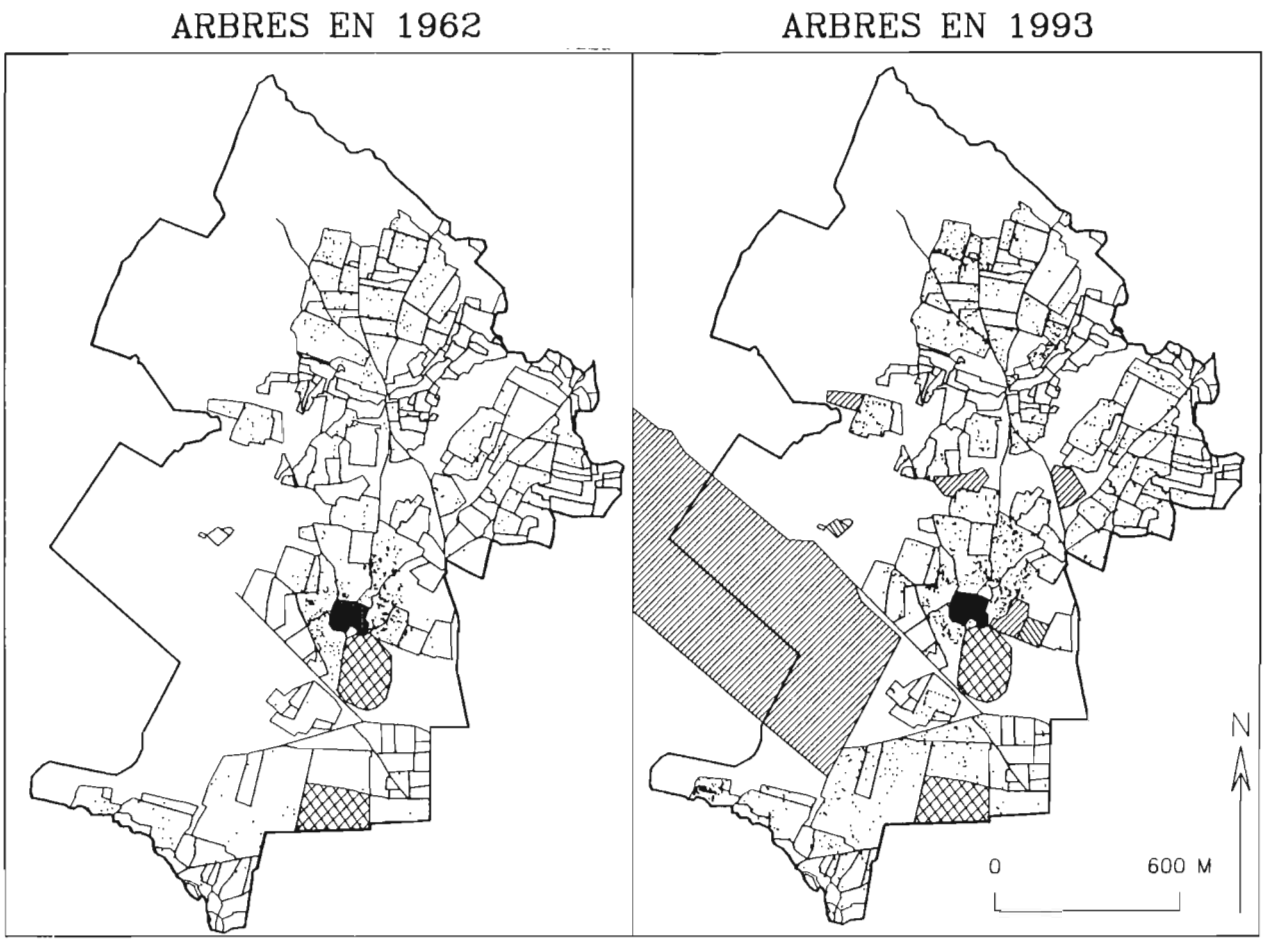
On peut avancer les hypothèses suivantes pour expliquer le développement du parc à néré-karité :

• D'une part, l'explosion de la culture du coton et du maïs, permise par l'existence de marchés et par la fourniture d'intrants agricoles, comme les engrais chimiques, a permis la mise en culture des champs pendant plus longtemps *. En effet, les nérés et les karités devaient exister dans la flore originelle, mais ils ne

* Ndlr. Dans des cas de ce type, PELISSIER estime que : « le parc à faidherbia doit remonter à une époque où le village vivait en situation obsidionale et la sélection du parc à néré et karité a dû commencer avec l'établissement de la sécurité, puis se développer avec le coton ».

CARTE 5

Evolution du nombre d'arbres entre 1962 et 1993, sur les parcelles cultivées en 1993.



pouvaient certainement pas se développer dans les épisodes trop courts de mise en culture sans engrais, ni fumier (deux ou trois ans).

• D'autre part, le développement du commerce des graines de ces deux arbres a dû jouer sur leur protection.

CONFIRMATION DE L'HISTORIQUE DES PARCS PAR ENQUÊTE

■ Méthode

Au cours des enquêtes, il a été demandé aux villageois, et en particulier aux plus vieux d'entre eux, de décrire l'évolution historique de la composante arborée.

■ Résultats

• Ancienneté du parc à faidherbia

Tous ont confirmé la stabilité du parc à *Faidherbia albida* qui semble aussi naturel dans le paysage du village que les collines où les rivières. « Il a toujours été là et sera toujours là, tant que le village existera, et même au-delà » disent-ils. Ceci est d'ailleurs confirmé par l'existence d'un parc relictuel, seule trace d'un village disparu à quelques kilomètres de Dolékaha.

• Création du parc à néré et à karité

Concernant la « construction » du parc à néré-karité, les villageois témoignent que ce sont les chefs de terre qui imposent aux membres de leurs unités de production le respect des jeunes arbres, au moment du défri-

chement des jachères et au cours des labours et sarclages suivants.

- **Impact du type de labour**

Au moment de l'introduction de la culture cotonnière, des tracteurs loués par la C.I.D.T. venaient labourer les champs et les propriétaires éliminaient les arbres pour faciliter leur passage, encouragés par les moniteurs agricoles. Ensuite, les villageois ont appris la culture attelée, se sont équipés de charrues et de bœufs et ont abandonné le labour mécanisé, trop cher. Depuis cette époque, les agriculteurs ont laissé repousser de jeunes arbres de parc.

Aujourd'hui, le taux de boisement sur les parcelles labourées à la charrue attelée est de 15 arbres/ha, alors qu'il est de 12 arbres/ha sur les parcelles cultivées manuellement. La différence n'est pas significative mais ceci montre tout de même que la culture attelée est tout à fait compatible avec la présence d'arbres sur les parcelles.

POURQUOI DES ARBRES DANS LES CULTURES ?

Au cours d'un certain nombre d'enquêtes, cette question a été posée aux villageois (on ne cite pas ici les méthodes et les pourcentages de réponse).

RÉSULTATS

■ *Faidherbia albida*

- **Intérêt fourrager**

Comme il est mentionné ci-dessus, les villageois ne se posent même pas la question de l'existence de ce parc ; il est là, indissociable de leur village. Bien entendu, ils citent tout de même ses avantages classiques, dont le plus important est l'apport de complément fourrager très nourrissant (feuilles des branches élaguées et gousses) au moment où le fourrage de brousse est rare et peu digestible.

Les racines d'un *Faidherbia albida* ont été dégagées pour montrer l'enracinement très traçant de cette espèce.

- **Une gêne pour le labour**

Contrairement aux paysans du Sahel, ils reconnaissent tout de même certains inconvénients. Ils disent en effet que les racines de cet arbre gênent le labour, si bien que ce dernier doit être fait manuellement, en billons, comme autrefois. Une observation rapide montre en effet que les arbres déracinés par le vent ont un enracinement très traçant, sans pivot. Certaines racines courent à la surface du sol et se rejoignent, comme si elles s'étaient anastomosées ou si l'un des arbres était le drageon du premier. Ces hypothèses pourraient être prochainement vérifiées par une étude génétique de différents arbres. Il est également très probable qu'une dalle latéritique continue empêche l'installation d'un pivot profond et que, sous ce climat pluvieux, l'alimentation superficielle soit suffisante pour faire vivre un *Faidherbia albida*, alors que cette espèce est phréatophyte dans les climats beaucoup plus secs du Sahel. Une étude pédologique devrait prochainement vérifier cette autre hypothèse.

- **Les grands arbres contrôlent la prolifération des semis**

La raison la plus curieuse pour expliquer le maintien du parc à *Faidherbia albida* est, d'après certains paysans, que les grands arbres contrôlent la prolifération de jeunes semis ou de drageons qui, sans ces grands arbres, deviendraient incontrôlables et constitueraient une peste végétale * car, en effet, le

* On retrouve la même explication dans plusieurs chapitres de cet ouvrage, en particulier dans celui de C. SEIGNOBOS.

brout du bétail n'élimine pas *Faidherbia albida* et favorise au contraire son drageonnage, si bien qu'il peut devenir envahissant. Par ailleurs, dans les zones cultivées de façon permanente, cette espèce n'a pas à craindre la concurrence des graminées pérennes en arrière-saison ou le passage du feu, facteurs auxquels elle est très sensible (R. PELTIER, 1988). Des études plus poussées pourraient confirmer ou infirmer cette opinion des paysans et de certains chercheurs.

■ Le néré

Les paysans précisent que la plupart des chefs de terre font protéger jalousement cette espèce. M. OUALBADET, 1993, rapporte que l'un d'entre eux lui a déclaré : « le néré, est pour un *tarfolo,* le café ou le cacao d'un planteur du Sud ».

En effet, le néré est non seulement la marque de sa propriété sur le sol mais elle est une source de revenus importante. Il semble que 9/10 des graines récoltées par les femmes reviennent au *tarfolo* qui les vend pour la fabrication du « *soumbala* » *. La farine contenue dans la gousse sert de nourriture aux enfants et de complément au bétail ; elle est consommée par les adultes en temps de famine et, par ailleurs, l'enveloppe des gousses est très appétée par les caprins et les ovins.

■ Le karité

Contrairement aux graines de néré, l'essentiel des revenus du karité revient aux femmes qui assurent le travail important de récolte et de transformation. Le contrôle de la récolte est en effet difficile, le bénéfice subjectif (rapport-coût de la main-d'œuvre) est faible, les sous-produits (potasse extraite des cendres de coques) ont peu de valeur. C'est ainsi que seul un *tarfolo* dont les femmes font la récolte a encouragé cette espèce.

■ Les autres espèces

Les mangues greffées (peu nombreuses dans ce village) et les noix d'anacarde sont également exportées. Les ficus quant à eux servent de réserve fourragère, et leur feuillage peut même être vendu sur les marchés.

* Nom commercial, en langue Malinké, d'un condiment riche en protéines et au goût prononcé. Pour le préparer, on fait bouillir longuement les graines de néré, dont on retire les téguments par pilonnage et vannage, avant de les faire fermenter puis sécher en petites boulettes.

LES DONNÉES ÉCONOMIQUES

■ Méthode

Les enquêtes économiques menées par M. OUALBADET n'ayant duré que quatre mois en 1993, leur exactitude peut être contestée. Cependant, elles donnent un ordre d'idées que nous considérons comme tout-à-fait valable. Tous les produits mesurables pendant l'étude ont été quantifiés, les autres ont été estimés d'après enquête. Les prix des produits ont été pris sur les marchés et confirmés par enquête mais sans pouvoir tenir compte des variations dans l'espace et dans le temps. Les produits autoconsommés ont été regroupés avec les produits commercialisés pour le calcul du revenu des exploitations. Les revenus de l'élevage n'ont malheureusement pas été estimés, le bétail servant surtout d'épargne et les abattages étant surtout réservés aux cérémonies traditionnelles.

■ Résultats

Dans le revenu global du village hors élevage, estimé à 5,8 millions de F CFA, la majeure partie revient bien entendu aux cultures annuelles (25 % pour les céréales, 18 % pour le coton, 6 % pour les légumineuses, mais la part réservée aux produits liés à l'existence du parc reste élevée, avec 207 000 F CFA pour les graines de néré (4 %), 130 000 F CFA pour les graines de karité (2 %), 205 000 F CFA pour les produits artisanaux en bois (4 %), 350 000 F CFA pour le bois de feu (6 %).

L'un des résultats très surprenants de cette enquête est la part très importante prise par la chasse traditionnelle du petit gibier (pintades, perdrix, écureuils, varans, serpents...) dans le revenu du village, avec 1,6 million de F CFA, revenu supérieur aux revenus du coton !

Or, les paysans considèrent que la présence de ce gibier est liée à l'existence de boisements, de forêts, de jachères et également des arbres de parc.

Il apparaît donc clairement que la contribution des arbres aux revenus du village est loin d'être négligeable en année normale. Il est bien évident que la part des ligneux devient capitale en année de sécheresse et de pénurie agricole pour la survie des humains et du bétail. Cet aspect « assurance anti-sécheresse » ou « stratégie antirisque » est malheureusement difficile à prendre en compte par les théories économiques.

CONCLUSION

L'étude de la composante arborée du village de Dolékaha permet déjà de tirer de riches enseignements. Elle montre en particulier qu'il faut très clairement distinguer l'origine et l'évolution de deux types de parcs :

• Le parc à *Faidherbia albida* est lié à la culture permanente qui seule assure la survie de cette espèce. De ce fait, il se trouve lié à l'élevage qui par des transferts de fertilité permet cette culture permanente, mais sa surface est limitée par les disponibilités en fumier (dans notre cas, seulement 6 % des terres cultivées).

• Le parc à néré-karité est bien différent, car il est lié à l'alternance jachère-culture. Sa surface peut donc être beaucoup plus étendue. On avance l'hypothèse que les apports de fertilisants, surtout chimiques, favorisent l'extension de ce type de parc, en allongeant la période de mise en culture. Ceci permet la croissance des jeunes arbres à l'abri du feu et de la concurrence herbacée.

En second lieu, cette étude montre l'importance de la composante arborée dans les terroirs villageois.

Un village comme celui de Dolékaha compte environ 1 600 arbres sur ses terres cultivées ; il en compte très certainement bien davantage sur ses jachères, dans son bois sacré et ses forêts galeries.

Au moins 3 000 arbres pour 120 habitants représentent 25 arbres par habitant du village, enfants et vieillards compris. Et pourtant, avec presque 50 habitants/km^2, la densité de population est relativement élevée dans cette zone. Ceci nous montre au moins une chose, d'ailleurs bien connue par ailleurs mais qu'il convient de souligner une fois encore : une augmentation raisonnée du nombre d'habitants en zone soudanienne n'est pas forcément synonyme de désertification, bien au contraire.

Enfin, cette étude doit éclairer les chercheurs et les développeurs sur la complexité de création et de gestion des systèmes agroforestiers. On trouve encore des organismes qui se font les porte-drapeaux du développement d'une espèce arborée ou d'un système agroforestier donné. Or, lorsqu'on comprend le fonctionnement de ce terroir, on s'aperçoit que toute tentative d'extension de *Faidherbia albida,* en dehors du parc périvillageois et de sa périphérie immédiate, serait vouée à l'échec, même si l'on y consacrait des aides financières ou alimentaires.

Par contre, sur de nouveaux terroirs défrichés et mis en culture par des agropasteurs migrants, il est certainement intéressant d'installer des *Faidherbia albida* aux abords du village par plantation ou semis, en choisissant du matériel végétal adapté. Par la suite, celui-ci pourra survivre, se régénérer et s'étendre si les agriculteurs en ont la volonté. La sélection ou la plantation d'autres espèces d'arbres locaux ou exotiques peut être encouragée dans d'autres zones du terroir. ■

C. BERNARD et R. PELTIER
CIRAD-Forêt
BP 5035
34032 Montpellier CEDEX 1
(France)

N. OUATTARA
IDEFOR/D.F.O.
BP 947
Korhogo (Côte-d'Ivoire)

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AGBAHUNGBA (M.), DEPOMMIER (D.), 1989. — Aspects du parc à karités-nérés dans le sud du Borgou (Bénin). Revue Bois et Forêts des Tropiques n° 222, p. 41-54.

BERNARD (C.), 1993. — Typologie d'un terroir Sénoufo en zone dense, cas de Dolékaha, région de Korhogo, Côte-d'Ivoire. Mémoire DESS, Université Paris XII, Créteil, France, 100 p.

BERNARD (C.), PELTIER (R.), 1994. — Etude du parc agroforestier d'un terroir Sénoufo au nord de la Côte-d'Ivoire. *In :* Communications du symposium international « Recherches-Systèmes en Agriculture et Développement Rural », Montpellier, France, 21-25 novembre 1994. Montpellier, France, CIRAD-SAR, p. 404-410.

LOUPPE (D.), 1994. — Le karité en Côte-d'Ivoire, Projet de Promotion et de Développement des Exportations Agricoles (PPDEA), composante recherche-développement. Nogent-sur-Marne, France, CIRAD-Forêt, 29 p.

OUALBADET (M.), 1993. — Pratiques agroforestières en pays Sénoufo, cas du village de Dolékaha, Côte-d'Ivoire. Montpellier, France, CNEARC, 59 p.

PELTIER (R.), 1988. — Résultats des essais sylvicoles du Nord-Cameroun. Maroua, Cameroun, IRA-CRF, 241 p.

RAISON (J.P.), 1988. — Les parcs en Afrique. Encyclopédie des techniques agricoles en Afrique Tropicale. Paris, France, Centre d'Etudes Africaines, EHESS, 117 p.

Crédit photos C BERNARD, D LOUPPE, R PELTIER

RÉSUMÉ

Les auteurs ont choisi, en zone soudano-guinéenne, un terroir d'un village très ancien qui comprend, d'une part, l'un des parcs à *Faidherbia albida* les plus méridionaux jamais décrits en Afrique de l'Ouest et, d'autre part, un parc composé d'espèces diverses.

Après avoir fait un recensement démographique et une brève étude sociologique du village, les chercheurs ont levé les limites du terroir, des boisements, des forêts sacrées, des zones cultivées ou laissées en jachères Sur la zone cultivée en 93, ils ont fait le relevé topographique des limites exactes de parcelles et de l'emplacement des gros arbres. Grâce à l'utilisation d'un Système d'Informations Géographiques (S.I.G.), ils ont pu établir un certain nombre de cartes En interprétant les cartes et les enquêtes, ils ont pu distinguer plusieurs unités correspondant à une combinaison entre critères morpho-pédologiques, pratiques de gestion de la fertilité et choix des espèces d'arbres associées aux cultures :

• Autour du village se trouve un parc à *Faidherbia albida* sur une superficie de 7 ha ayant une densité d'environ 60 arbres/ha. Les photographies aériennes et l'enquête historique montrent que les limites et la composition de ce parc ont peu varié au cours des trente dernières années. Grâce au transfert de fertilité effectué par le bétail, il est possible, au cours de chaque saison des pluies, d'installer sous les *Faidherbia albida* des cultures associées (céréales et légumineuses), sans avoir jamais recours à la jachère.

• Sur les parties périphériques du territoire villageois se trouve un parc d'environ 200 ha où dominent le néré et le karité dont environ 100 ha ont été mis en culture en 1993 Ces terrains sont cultivés en coton ou en céréales en alternance avec des jachères. Les photographies aériennes et l'étude historique montrent que ce parc s'est enrichi depuis l'introduction de la culture du coton et a profité de l'abandon de la culture mécanisée au profit de la culture attelée.

• Dans les bas-fonds sont pratiqués la riziculture pluviale ou irriguée et le maraîchage sans association agroforestière Tous les arbres de cet espace ont été éliminés

La décision pour un chef de terre de garder des arbres sur une parcelle et le choix de l'espèce est donc fonction de nombreux critères :

• Existence de semis ou de drageons naturels.

• Possibilité d'introduction d'autres espèces

• Morphopédologie (par exemple, il n'y a pas d'arbres dans le bas-fond).

• Type de culture (pour les cultures de contre-saison hivernale sensibles au manque de lumière, il est nécessaire de réduire l'ombrage des arbres).

• Possibilité de protéger du feu les espèces sensibles comme *Faidherbia albida* en pratiquant la culture continue qui est liée à un apport de fertilité par le bétail.

• Intérêt du propriétaire pour une des productions de l'arbre (fourrage pour faidherbia, ficus ..), graines pour le néré et le karité.

Les auteurs concluent en disant que les agents du développement doivent tenir compte de ces impératifs. Ils pensent, en particulier, qu'il serait vain de vouloir implanter largement *Faidherbia albida* au-delà de l'étroit anneau périvillageois où les transferts de fertilité effectués par le bétail permettent la culture permanente, bien qu'il soit possible d'étendre progressivement la taille de cet anneau.

Mots-clés : Agroforesterie. Parcs. *Faidherbia albida. Vitellaria paradoxa. Parkia biglobosa.* Côte-d'Ivoire.

ABSTRACT

The authors chose, in the Sudano-Guinean zone of Côte-d'Ivoire, very old village lands comprising, on the one hand, one of the most southern parklands of *Faidherbia albida* ever described in West Africa and on the other hand, a parkland composed of different species.

After a demographic census and a brief sociological study of the village, the researchers surveyed the entire village lands, wooded areas, sacred forests, as well as all cultivated and fallow zones. They carried out a survey of the exact plot boundaries and the location of the big trees in the area which was cultivated in 1993. A number of maps were then made using a Geographic Information System (G I S.). Through map reading and questionnaires, the researchers were able to distinguish several units corresponding to a combination involving morpho-pedological criteria, fertility management practices, and the choice of tree species associated with crops :

• There is a seven ha *Faidherbia albida* parkland around the village with an estimated density of 60 trees per ha. Information from aerial photos and historic surveys indicates that both the limits and tree composition of the park have not changed within the last 30 years It is possible, thanks to fertility transfer by cattle, to practice mixed farming (cereals and legumes) under the *Faidherbia albida* trees during each rainy season, without ever leaving the land fallow.

• There is a parkland of approximately 200 ha on the outskirts of the village dominated by néré (*Parkia biglobosa*) and karité (shea tree = *Vitellaria paradoxa*). Approximately 100 ha of this land were cultivated in 1993 and 100 ha are fallow. Cotton and cereals are grown in these fields with intermittent fallow periods. Aerial photos and historical surveys indicate that this parkland has been enriched since the introduction of cotton and has also benefited from mechanized ploughing being abandoned in favour of animal ploughing.

• Rice farming using rains or irrigation and commercial market gardening are carried out in the bottom lands without an agroforestry system.

The landowner's decision to retain trees on a plot of land and the choice of tree species are therefore dictated by a number of criteria :

• Existence of seeds or of natural seedlings ;

• Possibility of introducing other species ;

• Morpho-pedology (the bottom lands have no trees) ;

• Type of crop (for cold dry season crops which require light, it is necessary to reduce tree shade) ;

• Possibility of protecting sensitive species like *Faidherbia albida* from bushfire by practising continuous cropping which is dependent upon animal-supplied fertility ;

• The proprietor's interest in one of the various tree products provided by trees (forage for *Faidherbia albida,* Ficus,...), seeds for néré and karité.

The authors conclude by saying that development agents must take the above requirements into consideration. They think particularly that it is no use attempting to extend *Faidherbia albida* widely beyond the limits of the existing small-ring around the village where fertility transfer by cattle makes continuous cropping possible. They have, however, not ruled out the possibility of a progressive extension of this ring.

Key words : Agroforestry. Parklands. *Acacia albida. Vitellaria paradoxa. Parkia biglobosa.* Côte-d'Ivoire.

DYNAMIQUE DES PARCS À *FAIDHERBIA ALBIDA*

Contraintes écologiques et économiques sur le terroir de Watinoma au Burkina Faso

par Sibiri J. OUEDRAOGO, agroforestier, IRBET/C.N.R.S.T.
D.Y. ALEXANDRE, écologiste, ORSTOM

Sous un faidherbia de bas de pente, un puits a été creusé où les pasteurs font boire leurs troupeaux.

La forte augmentation des populations en zone soudanienne, conjuguée avec les années de faible pluviosité, ont amené au cours des dernières décennies de profondes transformations du paysage tendant vers une diminution des ressources : l'érosion et la dégradation des sols se sont aggravées, les végétaux pérennes, en particulier ligneux, ont souvent disparu au profit de plantes annuelles ; la diminution locale des ressources a conduit à une pression élargie ou accrue sur le milieu, accentuant le déséquilibre entre les prélèvements et la reconstitution des potentialités et, dans le pire des cas, on en vient à parler de désertification. Dans une telle situation, il importe de faire le point sur l'état et la dynamique de la végétation de zones représentatives.

C'est dans ce cadre que s'est déroulée l'étude (OUEDRAOGO, 1990) dont nous extrayons ici les faits concernant plus particulièrement *Faidherbia albida*. Le travail de recherche s'est déroulé de mars à août 1990 dans le village de Watinoma, province du Bam, à 100 km environ au nord de Ouagadougou, dans une zone géologiquement complexe et climatiquement intéressante par son caractère subsahélien. L'étude s'intègre à un programme national plus vaste CES-AGF (conservation des eaux et des sols - agroforesterie concernant l'ensemble du plateau central burkinabé).

MATÉRIEL ET MÉTHODE D'ÉTUDE

- **La méthode des transects pour tenir compte de l'organisation topographique**

Une prospection rapide du terroir et une analyse des photographies aériennes au 1/50 000 de 1982 nous ont permis de constater que la disposition spatiale des catégories fonctionnelles et des formations végétales du terroir de Watinoma est étroitement liée à l'organisation topographique. Cette topographie est caractérisée par la présence d'un escarpement central d'orientation Nord-Sud sur lequel se trouve le village de Watinoma et de deux bassins versants situés de part et d'autre du village.

Par conséquent, nous avons utilisé la méthode des transects dans le sens de la toposéquence, qui nous offre l'avantage de permettre une bonne considération de l'organisation floristique et de la structure des populations dans les parcs.

Ces études de transects sont complétées par des relevés sur parcelles de la floristique et des circonférences des arbres, ainsi que par des sondages pédologiques et des enquêtes auprès des paysans.

RÉSULTATS

PLACE DE *FAIDHERBIA ALBIDA* DANS L'ORGANISATION GÉNÉRALE DU PAYSAGE

- **Une nette différenciation des espèces d'arbres selon la toposéquence qui aboutit à une classification en quatre formations**

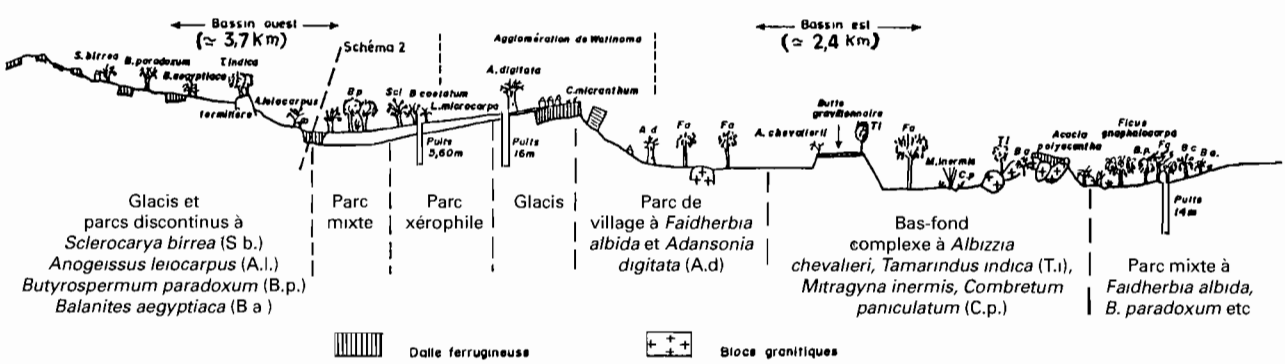
La figure 1 donne une idée des observations effectuées sur 8 transects et 127 relevés phytosociologiques. Sur ces deux reproductions de toposéquence, nous avons seulement mentionné les espèces de parc et les espèces caractéristiques du site. Le lecteur intéressé par plus de détails se reportera à OUEDRAOGO, 1990.

De l'ensemble des observations, deux faits essentiels ressortent :

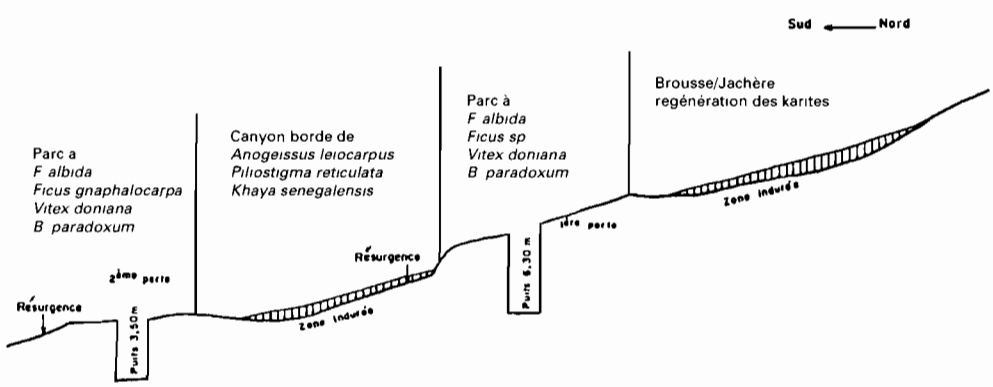
- La très nette différenciation de la végétation

FIGURE 1

A -Toposéquence schématique du terroir de Watinoma



B - Séquence du cours d'eau du bassin ouest



selon la toposéquence avec, d'une manière générale, une végétation beaucoup plus xérophile en haut des pentes qu'à proximité des thalwegs. Cette différenciation est générale en zone sèche et s'explique par le ruissellement qui concentre l'eau de pluie vers les bas versants ; elle est causée en grande partie par les états de surface qui conditionnent très souvent les phénomènes d'infiltration et de ruissellement, comme l'on montré CASENAVE et VALENTIN (1989).

• Une grande différence entre les bassins ouest et est du village, d'origine géomorphologique, avec un enchaînement de causalités portant sur la nature, la structure et la composition des sols.

A l'ouest du village, les sols sont fortement gravillonnaires et souvent peu profonds ; les pentes sont rarement fortes mais toujours marquées. La cuirasse latéritique est toujours présente, soit à faible profondeur, soit par ses produits d'altération. Au contraire, à l'est du village, l'érosion a échancré les cuirasses latéritiques et mis à jour des blocs granitiques entourés de kaolins. Les pentes sont très accentuées sur le pourtour des dépressions, à l'endroit où disparaît la cuirasse latéritique, mais on rejoint très rapidement le niveau de base. La plaine où se développe le parc apparaît dans son ensemble très plate et le réseau de drainage, peu encaissé, suit des méandres irréguliers, plus marqués par la présence des *Mitragyna inermis* que par la pente. Les inondations sont fréquentes. Le sol est brun et profond ; on y voit des fentes de retrait qui trahissent la présence d'argiles smectiques à forte capacité d'échange chimique. Quelques buttes émergent qui tranchent par leur végétation. Les unes sont d'origine anthropique, comme on peut s'en convaincre à la présence de reste de hauts fourneaux ou à la grande abondance de morceaux de poterie. Le sol, complètement déstructuré, forme en surface une croûte lisse qui empêche l'infiltration et explique la quasi-absence de végétation. Les autres buttes, surtout sur le pourtour des dépressions, sont gravillonnaires et recouvertes d'une végétation à *Albizzia chevalieri* accompagné de *Tamarindus indica*. On retrouve tamarindus sur le pourtour des « chaos » granitiques, tout comme il est fréquent sur les zones de démantèlement de cuirasse. Le fait que le tamarinier soit encore associé aux termitières, dans les zones à faible pente, semble indiquer que l'arbre est éminemment apte à profiter des fissures. De ces données nous distinguons, pour l'ensemble du terroir villageois, quatre types de formations étroitement liés à l'organisation topographique et pédologique et au mode d'exploitation. Ce sont les formations végétales de plateaux ou de rupture de pente, celles de piedmont, de bas de versant mésophile et enfin les formations ripicoles.

• **Les espèces xérophiles, dont les combrétacées, dominent les formations végétales de plateaux ou de rupture de pente**

Les formations arbustives dominées par des espèces xérophiles occupent des sols cuirassés ou carapacés localement fissurés, des cuirasses démantelées à blocs ferrugineux métriques ou des sols fortement gravillonnaires.

Les espèces constantes de ces espaces sont dès combrétacées (*Combretum glutinosum, Combretum micranthum* et *Guiera senegalensis*) et une rubiacée (*Gardenia sokotensis*) souvent associées à des termitières. Sur les ruptures de pente, on trouve régulièrement *Maerua crassifolia* (à port dressé) et *Boscia senegalensis* associées aux espèces précédentes. *Faidherbia albida* est totalement absent de ces formations arbustives xérophiles.

Sur les surfaces gravillonnaires autour des concessions, nous trouvons des champs fortement fumés ; ce sont les champs de case. Sur ces sites, les combrétacées arbustives sont présentes sous formes de vieilles souches. On y rencontre une strate arborée composée d'espèces de parc autochtones (*Faidherbia albida, Adansonia digitata*) et exotiques (*Azadirachta indica, Eucalyptus camaldulensis* et *Mangifera indica*).

• **Dans les formations végétales de piedmonts et de surfaces d'encroûtement, il reste surtout des arbustes sahéliens**

Nous regroupons ici les stations où le sol est couvert de blocs latéritiques de diverses dimensions, dans le bassin ouest, et de blocs granitiques amassés ou affleurants, dans le bassin est.

La végétation de ces stations est constituée d'une strate arbustive formée d'espèces sahéliennes, notamment : *Acacia senegal, Balanites aegyptiaca, Boscia senegalensis, Capparis corymbosa* et *Cassia sieberiana*.

Ce sont des sites fortement érodés, actuellement non cultivés, où les espèces de parc sont absentes. Les vestiges d'aménagements anti-érosifs sur les piedmonts sont les témoins, comme le faisait observer MARCHAL (1978) dans une situation similaire au Yatenga voisin, d'une exploitation ancienne de ces surfaces fragiles.

• **Plusieurs espèces d'arbres « utiles » ont été conservées dans les formations de bas de versant sur sols ferrugineux tropicaux**

Elles sont caractérisées par la présence d'une strate arborée de plus en plus dense vers la dépression.

Cette strate est dominée par des espèces secondaires du parc, *Lannea microcarpa*, *Sclerocarya birrea* et *Bombax costatum* dans la partie supérieure de la dépression ouest et à la lisière des plages nues du bassin est. Le reste de l'espace est dominé par *Butyrospermum paradoxum*, plus dense dans le bassin ouest, et par *Faidherbia albida* très développé dans le bassin est mais très rare dans l'autre.

Le bassin ouest, surtout la partie nord relevant de la gestion du village voisin de Nianwéla, est très peu cultivé contrairement au bassin est dont la quasi-totalité est cultivée sans période de jachère.

- **Derrière les lignes d'espèces ripicoles sur berge, se développe un parc où domine *Faidherbia albida***

Parmi les formations ripicoles, nous distinguons deux variantes : une variante est, caractérisée par un enfoncement très faible du réseau de drainage qui divague en longs méandres sur un sol argileux, et une variante ouest où le lit encaissé, à pente marquée, repose sur une dalle dénudée (cuirasse d'hydromorphie) et présente des pertes suivies de résurgence.

Dans le bassin est, les berges du réseau hydrographique sont occupées par des espèces de sites d'hydromorphie typiques telles que *Mitragyna inermis*, *Combretum paniculatum* ou *Diospyros mespiliformis* (cf. GUINKO, 1985). Ces espèces fournissent l'essentiel du bois de service du village et on notera que chaque individu est approprié. Immédiatement derrière la ligne de végétation ripicole, nous retrouvons un parc intensément cultivé où dominent avec *Faidherbia albida*, *Khaya senegalensis*, *Vitex doniana*, *Terminalia avicennioides*, *Ficus gnaphalocarpa*, *Butyrospermum paradoxum*. Nous y avons également rencontré *Celtis integrifolia*.

Dans le bassin ouest, la flore ripicole ne présente pas de caractère hydromorphe marqué et se distingue en fait très peu de celle du moyen versant. C'est une végétation dominée par *Lannea microcarpa* et *Anogeissus leiocarpus*. A ces espèces s'associent une strate arbustive à *Terminalia avicennioides* et à *Combretum molle*, sur dépression fermée, et à *Diospyros mespiliformis* et *Piliostigma reticulata* sur les berges abruptes. Nous y avons rencontré *Erythrina senegalensis* mais *Mytragina inermis* est absent.

ORGANISATION STRUCTURALE DES POPULATIONS DE *FAIDHERBIA ALBIDA*

- ***Faidherbia albida* est une espèce très plastique dont la présence ne trahit que l'anthropisation du milieu**

Les relevés effectués dans 13 parcelles du terroir ont permis de noter la présence de 21 espèces dans la strate arborée des parcs de Watinoma. *Faidherbia albida* en tant qu'espèce est présent dans toutes les parcelles du parc, et ne permet, contrairement aux autres espèces du parc, aucune distinction phytosociologique. C'est une espèce qui apparaît comme éminemment plastique et dont la présence n'indique que la forte anthropisation du milieu.

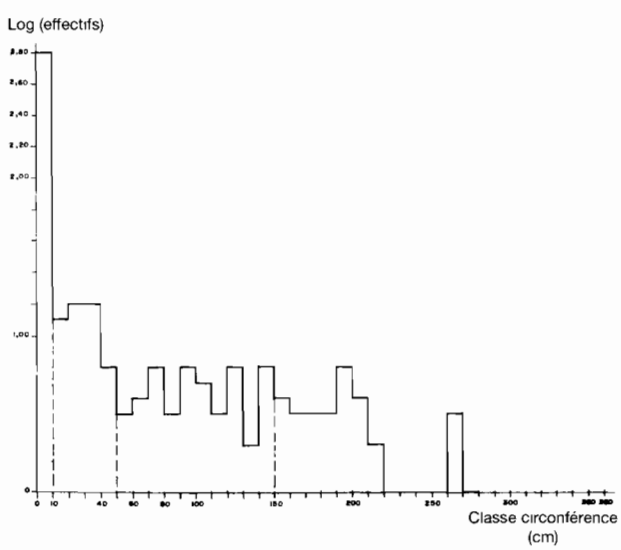
- **Seule une petite partie de l'abondante régénération de *Faidherbia albida* est conservée par la population**

Les mensurations effectuées nous permettent d'appréhender la structure de la population et sa dynamique. Les effectifs totaux de *Faidherbia albida* pour l'ensemble du parc convertis en log par classes de circonférences sont représentés en histogramme sur la figure 2. L'histogramme permet d'observer une forte contribution en individus de petites circonférences et une disparition très accentuée des individus de grosses circonférences. Ainsi, les individus de circonférences inférieures à 10 cm représentent-ils 78 % environ des effectifs totaux ; les classes de circonférences supérieures n'atteignent pas 2 % des effectifs totaux.

Le diagramme a la forme de L caractéristique des populations jeunes à forte capacité de renouvellement. Une telle allure traduit une bonne régénération de *Faidherbia albida* dans les surfaces cultivées de Watinoma. Elle révèle aussi l'existence d'une contrainte d'accroissement caractérisée par ce grand écart d'effectifs.

FIGURE 2

Effectifs totaux de *F. albida* (en Log) par classe de circonférence à Watinoma.



- **La structure de la population d'arbre indique les choix individuels des agriculteurs**

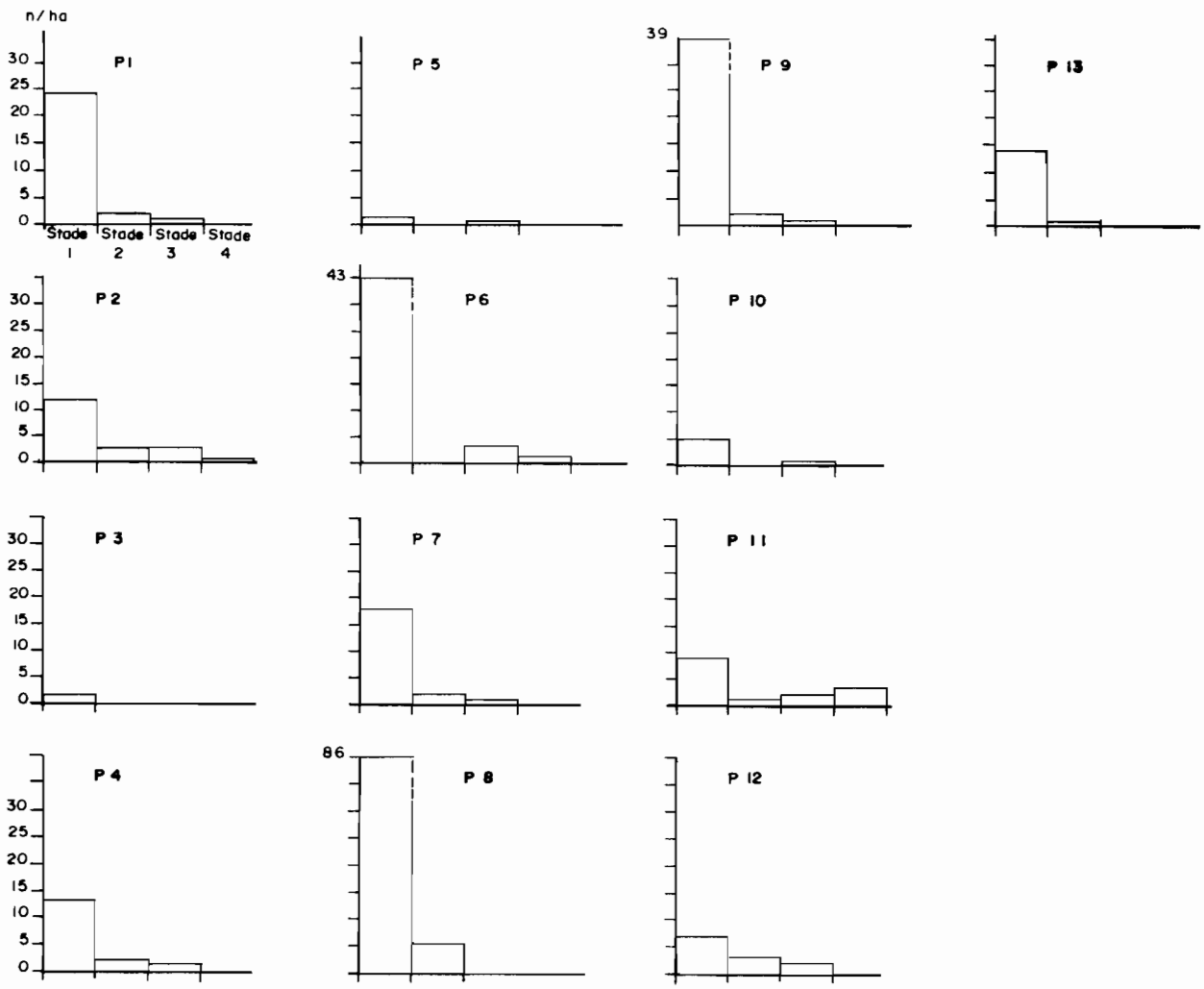
Pour une meilleure analyse de la structure de population, nous avons défini quatre classes ou stades de développement. Le stade 1 correspond aux individus buissonnants, c'est à dire aux rejets de souche dont aucune tige n'atteint 10 cm de circonférence. Le stade pré-adulte (stade 2) est composé d'individus de 10 à 50 cm de circonférence, le stade adulte ou stade 3 constitué par des individus de 50 à 150 cm et le stade vieillissant formé d'individus de plus de 150 cm.

Les densités par stade de développement et par parc sont reportées sur la figure 3. Ces diagrammes permettent de noter des différences de comportement des populations de *Faidherbia albida* du terroir de Watinoma. Les plus caractéristiques s'observent avec :

- Le parc n° 6, marqué par une absence totale de recrutement à un moment donné, correspondant au stade n° 2 ; une tendance similaire s'observe avec les parcs n° 10 et 11.
- Les parcs n° 3 et 5 où l'espèce se retrouve en trace : moins de 1,5 individu/ha au stade 1 et une absence d'individus plus évolués.

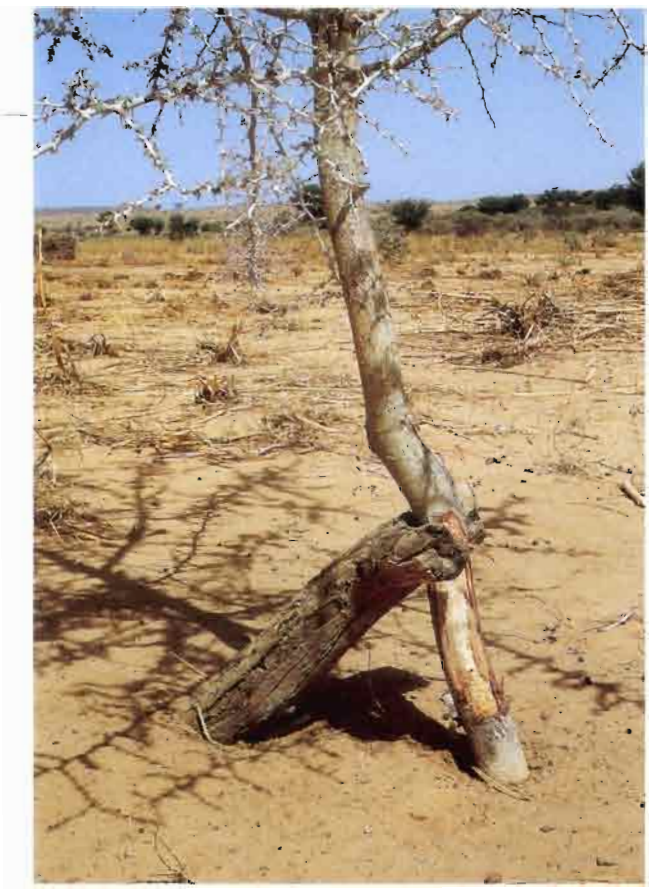
FIGURE 3

Densités par stades de développement.



Les différences de comportement nous font distinguer quatre groupes de parcs, caractérisés chacun par des contributions particulières des stades de développement de *Faidherbia albida*. Nous distinguons :

- Le groupe de forte contrainte de recrutement formé des parcs n° 3 et 5.
- Le groupe de forte contrainte d'accroissement caractérisé par une bonne contribution du stade 1 mais des contributions faibles à nulles pour les autres stades ; ce sont les parcs n° 1, 4, 7, 8, 9, et 13. Les deux parcs 4 et 7 sont des champs de village et occupent la bande proximale des berges ; les quatre autres sont des champs de cases.
- Le groupe des parcs anciens où l'on observe une forte baisse (parcs n° 10 et 11) ou un arrêt de recrutement (parc n° 6) pour le stade 2, ce qui confère un aspect vieillissant à ces parcelles car elles sont dépourvues de jeunes individus.
- Le groupe des parcs d'allure équilibrée, caractérisé par la disparition progressive des individus de grosses circonférences ; les parcs concernés sont les n° 2 et 12.



Les comportements vis-à-vis de *Faidherbia albida* sont très variables : un passant a couché cet arbre en voulant y récolter de l'écorce à usage médicinal ; au contraire, le propriétaire l'a relevé et étayé.

Exemple de parc à structure bien équilibrée, dans lequel l'agriculteur a conservé de jeunes faidherbias qui remplaceront progressivement les plus anciens.

DISCUSSION

- **Les contraintes climatiques ont fait régresser certaines espèces, comme le karité, mais pas *Faidherbia albida*, plus plastique**

Les sécheresses climatiques et les activités humaines ont été à l'origine de la perturbation des surfaces pédologiques et de la modification des capacités de rétention en eau des différentes composantes de la toposéquence (CASENAVE, VALENTIN, 1989). Elles entraînent, à des degrés divers, la dégradation des espèces du parc à Watinoma. Le karité a disparu sur les versants et se retrouve maintenant dans les parties basses ; les conditions pédohydriques actuelles des plateaux cuirassés et des versants ne répondent plus à ses exigences écologiques.

Contrairement au karité qui régresse, le faidherbia colonise des aires variées de la toposéquence mises en culture. Cette situation de *Faidherbia albida* est très bien résumée par BONKOUNGOU (1987). Celui-ci, à une autre échelle de constat, écrivait ceci : « En Afrique Occidentale, *Acacia albida* est une espèce essentiellement anthropophile, constamment associée aux systèmes agraires... TROCHAIN (1940) le considère même comme l'arbre le plus caractéristique des terrains cultivés de son « Sous-Secteur Occidental Soudano-Sahélien » dont il caractérise la végétation comme un « péniclimax à *Faidherbia albida* ». Dans ces régions, *Acacia albida* est absent de la végétation naturelle ».

- ***Faidherbia albida* ne peut pas se développer dans les systèmes de culture itinérante**

Dans le bassin ouest de notre zone d'étude, la présence de grandes surfaces incultes envahies par les recrûs justifie en partie l'absence de populations de *Faidherbia albida*. Mais la présence de champs dispersés dans le bassin aurait pu entraîner l'installation de peuplements de *Faidherbia albida*. Seulement, les résultats de nos sondages révèlent des conditions pédologiques précaires et une dalle peu profonde : les espaces mis en culture sont épuisés et abandonnés au bout de trois à cinq ans d'exploitation. Cette brièveté du temps d'exploitation ne permet pas l'installation d'un parc à *Faidherbia albida*. Par ailleurs, la recolonisation de ces espaces par les herbes et autres recrûs (BONKOUNGOU 1987, C.T.F.T., 1988) ainsi que la dalle peu profonde ne permettent pas l'installation et l'accroissement de l'espèce.

En ce qui concerne la densité des populations de *Faidherbia albida*, comme l'ont déjà souligné de nombreux auteurs (GIFFARD 1974, BONKOUNGOU 1987, C.T.F.T., 1988), elle varie d'une région à l'autre « « non seulement par les conditions édapho-climatiques mais aussi selon le niveau d'intégration de *F. albida* par les populations dans leur système de production agricole ». A l'échelle du terroir de Watinoma, cette densité, et de façon précise la structure de la population, est fonction de trois paramètres : la situation pédohydrique, la catégorie fonctionnelle et l'âge de l'occupation permanente du champ.

Dans le cas précis de Watinoma, nous observons une disparition de la notion d'organisation auréolaire des champs telle que décrite par de nombreux auteurs (PELLISSIER, CAPRON, GIFFARD, LASSAILLY, cf. C.T.F.T., 1988). La pratique de la jachère a disparu, les champs de brousse d'antan sont devenus des champs permanents à parcs arborés, répondant aux caractéristiques d'un champ de village. Par contre, les champs situés à proximité des concessions dispersées sont intensivement exploités et sont fortement fumés ; ce qui correspond à la définition de champs de case. Ces champs sont également sous couvert arboré sans organisation spatiale nette, caractérisé par la présence de *Adansonia digitata*. Les termes de champs de case et de champs de village sont utilisés dans le texte dans cette acception.

Ainsi les champs de villages nouvellement créés à la lisière des surfaces dénudées, tels que les parcs 3 et 5, du fait de leur éloignement de l'habitat et de leur flore xérophile, ne constituent pas un lieu privilégié de pâture de saison sèche. Le manque de semences de *Faidherbia* et la mise en cultures récente font que les arbres sont rares ; il y a donc « contrainte de développement ».

- **L'exondation et la mise en culture des bas-fonds favorise la création d'un parc à *Faidherbia albida***

Une variante des parcs à forte contrainte d'accroissement est constituée par les parcs de surfaces inondables (parcs 4 et 7), situés sur la frange proximale des lits de rivière devenue arable à la suite des sécheresses climatiques des vingt dernières années. *Faidherbia albida* est en train de coloniser ces espaces à la faveur de la disponibilité en eau et en semences. La persistance de fourrage frais et d'ombrage entraînerait la pâture de saison sèche et, par conséquent, une dispersion des semences par les déjections.

- **Sur les pentes, près des parcs à bétail, la régénération est abondante, mais les arbres ne peuvent pas se développer**

Un autre type de parc à forte contrainte d'accroissement correspond aux parcs de champs de case construits autour de concessions isolées (parcs n° 1, 8, 9 et 13) qui sont des parcelles de rupture de pente (parc n° 9) et de piedmonts (parcs n° 1, 8 et 13) ; ils sont d'occupation permanente beaucoup plus ancienne que les parcs de surfaces inondables. Les kraals sont intégrés (pour les petits ruminants) ou accolés (pour le gros bétail) aux concessions. La proximité des enclos à animaux est à l'origine de la forte régénération (abondance des individus de stade 1) par disponibilité importante de semences provenant des déjections animales, comme le faisait observer GIFFARD (1974). Mais, d'une part, les sols fortement gravillonnaires et la pente relativement forte (4 à 15 %) sont à l'origine de la non disponibilité de la nappe phréatique : situation défavorable à l'accroissement de *Faidherbia albida* et, d'autre part, cette proximité des enclos est favorable à un fort abroutissement dépressif à l'accroissement des plants (C.T.F.T., 1988).

- **Dans les vieux parcs, les propriétaires jugent la densité d'arbre suffisante**

Les parcs vieillissants sont des espaces cultivés, occupés depuis très longtemps. Nous y retrouvons les parcs d'agglomération (parc n° 10) où est installée la population autochtone dont le chef de village ; c'est le lieu d'habitat le plus ancien. Les peuplements de *Faidherbia albida* se sont concentrés autour des micro-

impluviums, dont les vieilles carrières de prélèvement de banco de construction.

Egalement, dans ce groupe, nous notons la présence des parcs de sites d'abreuvement (parcs n° 6 et 11) ; ces sites sont les lieux de puits traditionnels, et le chef de ménage affirme qu'ils sont cultivés depuis plus de 60 ans ; la carte confirme, d'ailleurs, qu'ils étaient en exploitation en 1952. L'ancienneté de l'occupation, l'abondance des semences par la fréquentation des animaux et la proximité de la nappe phréatique sont favorables, d'une part, à la forte régénération et, d'autre part, à la présence d'individus de grosses circonférences.

Dans ces parcs, les propriétaires des champs jugent les densités actuelles de *Faidherbia albida* suffisantes pour ne plus justifier des recrutements, ce qui est à l'origine de ce hiatus observé entre le stade 1 et 3.

Cet état de fait est perceptible à travers la dispersion des densités autour des moyennes, caractérisée par les coefficients de variations de deux groupes de stades : les individus de stade 1 constitués presqu'exclusivement de rejets de souche et les individus épargnés par le paysan (les stades 2, 3 et 4). La plus forte homogénéité (coefficient = 16,8 %) est obtenue avec le groupe des stades 2, 3 et 4 dont la densité est liée aux préférences du paysan ; celles-ci sont peu variables entre paysans du même village. Par contre, pour le stade 1 dont les densités dans les champs sont plutôt liées à des facteurs « naturels » (pédoclimat, semences...), le coefficient est plus fort (30 %).

- **Dans les champs éloignés des habitations, *Faidherbia albida* est éliminé pour éviter qu'il ne serve de perchoir aux oiseaux et il est surexploité par les éleveurs**

Les contraintes d'accroissement de *Faidherbia albida* à Watinoma sont, au niveau des champs de village, beaucoup plus liées aux préférences et au savoir-faire du paysan qu'aux facteurs pédoclimatiques dans les champs. Nos enquêtes auprès d'eux ont révélé que les raisons majeures du maintien d'une telle densité de *Faidherbia albida* de plus de 10 cm de circonférences sont :

• Le rôle de perchoir d'oiseaux granivores : contrairement à certains écrits (C.T.F.T., 1988), la difficulté de surveillance des champs de village contre ces oiseaux, due à l'éloignement, constitue une contrainte au maintien d'une forte densité d'individus adultes.

• L'anarchie dans l'émondage pratiquée par les pasteurs allochtones ; ceci à la faveur de l'éloignement.

CONCLUSION

Bien qu'à Watinoma *Faidherbia albida* soit moins menacé que le karité, et beaucoup moins que le néré qui a pratiquement déjà disparu, il y est fortement déséquilibré malgré un bon potentiel de régénération.

Les peuplements à *Faidherbia albida* de Watinoma ont une prédilection très marquée pour certains sites de bas de pente avec un sol non gravillonnaire et une nappe phréatique proche de la surface. La méthode d'étude utilisée a, en outre, permis de discerner quatre groupes de parcs à faidherbia selon la contribution des différents stades et les contraintes de développement.

- **Sur les plateaux et sur les pentes, *Faidherbia albida* ne se développe que près de l'habitat et/ou près de mares artificielles**

L'absence de l'espèce dans les formations xériques des plateaux cuirassés, ainsi que sur les ruptures de pente fissurées à blocs ferrugineux métriques n'est pas surprenante pour une espèce exigeante en eau pendant la saison sèche. La présence de l'espèce autour de l'habitat, sur des sols profonds mais fortement gravillonnaires, montre le rôle de l'enrichissement organique, de l'ameublissement constant de la couche superficielle par le piétinement et par les sarclages qui favorisent une bonne infiltration, facteurs auxquels s'ajoute l'abondance de semences dans les déjections animales. Mais même dans ce cas, en dehors des abords de microbassins (notamment les carrières de banco de construction), les seuls individus rencontrés sont des « jeunes » qui n'ont pas évolué vers des formes adultes arborées. Cette absence de développement est, sans doute en partie, due au fort abroutissement par les animaux et aux rabattages constants des cultivateurs (C.T.F.T., 1988) mais provient, en fait, surtout du manque de disponibilité en eau ; ceci est confirmé par des sites privilégiés tels les trous de banco, qui restent une exception. Comme tant d'autres avant nous, nous sommes amenés à faire le constat que *Faidherbia albida* a une grande exigence en eau pour son installation, puis pour son accroissement.

- **Dans les zones basses *Faidherbia albida* est largement répandu dans les cultures, sauf sur sol induré ou gravillonnaire**

Dans les bas de versant, l'eau est disponible en plus grande quantité que sur les pentes mais là aussi deux situations se présentent :

- Dans le bassin ouest, où existe généralement une dalle ou une zone indurée à faible profondeur, l'espèce est rare et n'est en fait présente que sur les zones sans induration entre la nappe et la surface.

- Dans le bassin est à sol profond, l'espèce est quasi omniprésente, les exceptions s'expliquant alors par des anomalies pédologiques : buttes-témoins à sol gravillonnaire ou « zipélés », liées à d'anciennes implantations humaines, où la surface est encroûtée et l'ensemble du profil observé dépourvu de structure.

- **Les paysans ne favorisent qu'une infime partie de l'abondante régénération...**

A l'échelle du terroir, l'analyse de la structure de population du faidherbia montre un déséquilibre entre le stade buissonnant très abondant et les autre stades de développement. Leur nombre relatif par rapport au stade buissonnant, exprimé en densité de fréquence par classes de circonférence, est de moins de 8 %.

- **...Bien qu'ils estiment les vertus amélioratrices de l'espèce...**

Pourtant les paysans mossis de Watinoma reconnaissent les vertus de l'espèce sur l'amélioration des rendements. En ceci ils partagent le point de vue de tous les paysans de la zone soudannienne (MAIGA, 1987 ; BONKOUNGOU, 1957 ; C.T.F.T., 1988...). Malgré tout, il y a un manque de recrutement entre le premier stade abondant et les stades suivants ; le paysan de Watinoma en est conscient mais ne fait rien pour améliorer la situation car, en dehors des rôles positifs, il perçoit des effets sociaux ou techniques négatifs.

- **...Car les émondages par les éleveurs les privent de l'intérêt fourrager...**

L'espèce subit, au niveau des champs de village, une exploitation anarchique, surtout par les pasteurs allochtones qui coupent les branches feuillées pour leurs animaux et les laissent éparpillées. Le paysan qui ne profite plus de l'arbre pour ses propres animaux est astreint à un travail supplémentaire de rassemblement des branches, travail pénible en raison des épines qui occasionnent des blessures douloureuses. La notion

A Watinoma, le parc est intensément élagué pour produire fourrage et bois de feu.

de propriété semble exister mais la surveillance des champs à *Faidherbia albida* est rendue difficile en raison de l'éloignement des parcs.

- **...Egalement en raison de son rôle de perchoir pour les oiseaux qui consomment le mil et le sorgho**

L'arbre constitue un support privilégié pour les oiseaux granivores. Si aux alentours des concessions les enfants peuvent éloigner efficacement les oiseaux, ce n'est plus le cas dans les champs de village.

- **Par ailleurs, la fertilisation minérale diminue l'intérêt de l'arbre...**

A ces raisons évoquées par les exploitants, nous ne pouvons qu'ajouter notre inquiétude quant à l'avenir de l'espèce face à l'émergence des engrais. Ceux-ci, qui devraient venir compléter les effets améliorants de l'arbre, lui font en fait concurrence, tout comme les cubes aromatiques et les huiles industrielles concurrencent respectivement le « soumbala » (produit du néré) et le « beurre de karité ».

- **...Mais celui-ci pourrait encore jouer un rôle très positif, si la gestion globale des terroirs était améliorée**

Encore à l'heure actuelle, malgré la péjoration climatique, le parc à *Faidherbia albida* pourrait être considérablement enrichi à Watinoma par un simple respect

des individus buissonnants spontanés. L'extension du parc aurait certainement des effets très positifs sur les possibilités agricoles du terroir, mais elle nécessite une évolution de la perception de l'arbre par les paysans et une modification des relations entre agriculteurs et éleveurs. ■

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BONKOUNGOU (E.G.), 1987. — Monographie de *Acacia albida Del.* espèce agroforestière à usages multiples. Ouagadougou, Burkina-Faso, IRBET, 92 p. + ann.

CASENAVE, VALENTIN, 1989. — Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. Paris, France, ORSTOM, 229 p.

CENTRE TECHNIQUE FORESTIER TROPICAL, 1988. — *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. (synonyme : *Acacia albida* Del.). Monographie. Nogent-sur-Marne, France, C.T.F.T./CIRAD, 72 p.

GIFFARD (P.L.), 1974. — L'arbre dans le paysage sénégalais. Sylviculture en zone tropicale sèche de formations végétales sahéliennes. Dakar, Sénégal, C.T.F.T., 431 p.

GUINKO (S.), 1985. — La végétation et la flore du Burkina Faso. Ouagadougou, Burkina Faso, Ministère de l'Environnement et du Tourisme, 118 p.

MAIGA (A.), 1987. — L'arbre dans les systèmes agroforestiers traditionnels dans la province du Bazèga. Influence du karité, du néré et de *Acacia albida* sur le sorgho et le mil : rapport de stage. Ouagadougou, Burkina-Faso, IRBET, 86 p.

MARCHAL (J.Y.), 1978. — Vestiges d'occupation ancienne au Yatenga (Haute-Volta). Une reconnaissance du pays kibga. Cah. ORSTOM Sci. Hum., XV (4). Paris, France, ORSTOM, p. 449-484.

OUEDRAOGO (S.J.), 1990. — Situation et dynamique des parcs agroforestiers de Watinoma en 1990, Province du Bam, Burkina Faso, rapport de stage D.E.A. Paris, France, Université Pierre et Marie Curie, Laboratoire de Biologie végétale, 51 p. + ann.

S. OUEDRAOGO
IRBET/C.N.R.S.T.
03 BP 7047
Ouagadougou
(Burkina Faso)

D.Y. ALEXANDRE
ORSTOM
213 rue La Fayette
75480 Paris CEDEX 10
(France)

Crédit photos R PELTIER

RÉSUMÉ

L'étude de la végétation arborée de Watinoma, village du nord-Burkina Faso, a montré une très nette différenciation de celle-ci en fonction de la toposéquence et des sols. Les espèces du parc agroforestier se montrent, dans les conditions pluviométriques limites de la zone, de bonnes indicatrices des contraintes écologiques et des conditions pédoclimatiques. *Faidherbia albida* se rencontre préférentiellement en bas de toposéquence sur des sols sableux et profonds. On le rencontre également autour des villages, sur des sols gravillonnaires. Mais, dans ces conditions, il n'évolue pas, sauf autour des microdépressions comme celles utilisées pour la fabrication des briques de banco.

L'étude de la structure démographique de l'espèce montre une grande abondance de sujets buissonnants formant des tiges de moins de 10 cm de circonférence, sujets régulièrement rabattus par les paysans. Pour les sujets de plus de 10 cm, le parc apparaît comme vieillissant. L'enquête effectuée auprès des villageois fait ressortir diverses causes à cet état de fait :

- La contrainte de gestion imposée par la réglementation forestière en vigueur, qui interdit au paysan de couper les arbres à sa guise.

- La baisse d'intérêt pour l'espèce ; cette baisse a plusieurs causes, dont l'apparition des engrais chimiques, le rôle de perchoir des arbres pour les oiseaux granivores, enfin les épines dispersées dans les champs par les bergers allochtones.

En somme dans la zone de Watinoma, contrairement à ce qu'on observe pour d'autres espèces comme le néré pratiquement disparu ou le karité en situation de crise, l'avenir de *Faidherbia albida* dépend beaucoup plus des facteurs humains que des autres facteurs écologiques.

Mots-clés : *Faidherbia albida.* Relation plante-sol. Impact sur l'environnement. *Parkia biglobosa. Butyrospermum paradoxum.* Burkina Faso.

ABSTRACT

The study of the vegetation of Watinoma, a village in northern Burkina, has shown a very marked differentiation here based on the toposequence and soils. In the hard pluviometric conditions of the zone, the species in the agroforestry parkland turn out to be good indicators of ecological limitations and pedo-climatic conditions. *Faidherbia albida* occurs from preference at the bottom of the toposequence in deep, sandy soils. It is also found around villages, in gravelly soils. But, in these conditions, it does not develop well, except around micro-depressions like those used for the manufacture of banco bricks.

The study of the demographic structure of the species shows a great abundance of bushy specimens forming stems with a circumference of less than 10 cm, which are regularly felled by farmers. For specimens of more than 10 cm, the parkland appears to be ageing. The survey carried out with villagers show up various causes for this state of affairs :

- The management restriction imposed by forest regulations in force, which prohibit farmers from cutting trees as they wish.

- Reduced interest in the species. This loss of interest results from several causes, including the advent of chemical fertilizers, the trees' role as a roost for granivorous birds, and lastly thorns scattered in fields by transhumant herdsmen.

To sum up : In the Watinoma zone, contrary to what may be observed for other species such as the néré which has virtually disappeared, or the karité, which is at crisis point, the future of *Faidherbia albida* depends much more on human factors than on other ecological factors.

Key words : *Faidherbia albida.* Plant soil relations. Environmental impact. *Parkia biglobosa. Butyrospermum paradoxum.* Burkina Faso.

IDENTIFICATION DES PARCS À *FAIDHERBIA ALBIDA* PAR TELEDETECTION

Premiers travaux réalisés au Nord-Cameroun

par Christine TRIBOULET, télédétection, ORSTOM

En saison sèche, *Faidherbia albida* (au second plan) est couvert de feuillage vert (identifiable par télédétection) alors que les cultures pluviales ont disparu et que la plupart des arbres (un baobab au premier plan) sont dénudés.

Les travaux de C. SEIGNOBOS (1982a) et C. LIBERT (1990) ont montré la présence de vieux parcs à *Faidherbia albida* construits en général par les agropasteurs peuls sur les terrains alluviaux qui bordent les rivières temporaires (madjé) de la région de Maroua, au Nord-Cameroun. C. SEIGNOBOS a également mis l'accent sur l'extension de nouveaux parcs sur les piémonts des massifs situés au nord-ouest de cette ville, suite à la descente en plaine des groupes montagnards. Cependant, cette approche qualitative souffre du manque d'estimation quantitative ; à ce jour, personne ne peut avancer de chiffres sérieux sur l'extension réelle de ces anciens ou de ces nouveaux parcs.

C'est pourquoi l'auteur de la présente étude a cherché à déterminer s'il était possible de calculer la surface et/ou la densité des parcs par une analyse d'images-satellite complétée par des inventaires au sol. Le temps et les moyens consacrés à cette étude étant très limités, il n'a pu être réalisé qu'un travail exploratoire de courte durée.

CARACTÉRISTIQUES DU VÉGÉTAL ET DE L'OUTIL SATELLITAIRE

Le calendrier phénologique particulier de *Faidherbia albida,* décalé par rapport aux autres espèces *, ainsi que la signature caractéristique de la végétation active, nous ont permis d'utiliser l'imagerie satellitaire pour discerner les zones d'implantation des parcs arborés.

Des relevés de terrain ont fourni les informations complémentaires indispensables à l'interprétation des zones sélectionnées.

LE COMPORTEMENT SPECTRAL DES VÉGÉTAUX

Quels que soient le type de formation végétale observé et le niveau de perception considéré, l'aspect général d'une courbe de réflectance est assez constant, même si les valeurs varient beaucoup par ailleurs (GIRARD et GIRARD, 1989, p. 22 et SS. BARIOU, LECAMUS, LE HENAFF, 1985, p. 11).

Dans le domaine visible, les végétaux ont un comportement spectral lié à leur composition en pigments, pigments parmi lesquels la chlorophylle joue un rôle particulièrement actif : les valeurs de réflectance varient de façon inverse à la teneur en pigments chlorophylliens de la végétation considérée.

Dans le domaine du proche infrarouge, les pigments (dont la chlorophylle) n'influencent plus le comportement spectral ; la réflectance est forte.

Le comportement des végétaux chlorophylliens est donc a priori suffisamment typique et constant pour être isolé des autres objets qui composent les paysages. Mais il faut pour cela que la végétation active recouvre au minimum 30 % de chaque tachèle ** considérée (GIRARD et GIRARD, 1989). Si ce pourcentage n'est pas atteint et que la végétation active est mélangée à de la végétation sénescente ou à des sols nus, les valeurs enregistrées ne sont pas caractéristiques de la végétation active, même si celle-ci est malgré tout intégrée dans la signature spectrale. Il est alors difficile, voire impossible, d'identifier les pixels *** incluant de la végétation active.

L'OUTIL SATELLITAIRE

Sachant qu'il est possible, dans certaines conditions, de percevoir l'activité végétale sur les images satellitaires, il était intéressant d'évaluer les possibilités de distinction de certaines formations végétales et plus particulièrement des parcs à *Faidherbia albida.*

Dans cet objectif, le satellite SPOT a été choisi pour ses qualités de haute résolution spectrale et surtout spatiale ****. Le satellite offre des informations dans trois bandes spectrales auxquelles sont attribuées, par convention, des couleurs (cf. tableau I).

TABLEAU I
Caractéristiques des canaux SPOT

Canal	Longueur d'onde	Domaine	Couleur sur image
xs1	de 0,50 à 0,59 µm	visible	bleu
xs2	de 0,615 à 0,68 µm	visible	vert
xs3	de 0,79 à 0,89 µm	infrarouge	rouge

La végétation active, particulièrement réflectante dans le canal xs3 auquel la couleur rouge a été attribuée, se manifestera sur les compositions colorées standards par des teintes rouges plus ou moins vives et uniformes.

* Les qualités de cet arbre ont été étudiées et reconnues par de nombreux auteurs (PELISSIER, 1966 et 1980 ; GOUROU, 1991 ; SEIGNOBOS, 1982 a et b. Ministère de la Coopération et du Développement, 1991), comme elles l'avaient déjà été par les cultivateurs et les éleveurs. Ses deux qualités principales sont un cycle végétatif inversé et une capacité à enrichir les sols.

** Tachèle (ou tache élémentaire) : « élément d'aire de la scène résultant de l'intersection du champ de visée (...) du capteur avec la surface de terrain » (S. PAUL, 1991).

*** Pixel : acronyme d'origine anglo-américaine pour Picture Element, c'est-à-dire élément d'image. Plus petite surface homogène constitutive d'une image enregistrée.

**** Un pixel SPOT en mode multibandes est de 20 m × 20 m. Pour de plus amples informations sur le satellite SPOT, on consultera GIRARD et GIRARD, 1989, chapitre 3 ; BESCOND, 1984.

ÉTUDE D'UNE IMAGE DE SAISON SÈCHE

LE CHOIX DE LA DATE D'ENREGISTREMENT DE L'IMAGE

La date d'enregistrement de l'image a beaucoup d'importance et doit être choisie en fonction des objectifs de l'étude.

Nous avions à notre disposition trois images satellitaires SPOT, enregistrées en octobre, novembre et janvier mais, puisque nous recherchions la végétation active, des images de fin de saison des pluies auraient a priori pu convenir *.

L'observation des compositions colorées de fin de saison des pluies et début de saison sèche a mis immédiatement en évidence l'impossibilité de se servir des deux premières images pour cartographier les parcs. En effet la végétation, à cette période de l'année, est très active et la signature des arbres est complètement masquée par celle des strates inférieures, très développées (cf. fig. 1a). Cette intense activité végétale se traduit sur les images par une couleur rouge, presque continue sinon homogène, résultat de l'amalgame des signatures radiométriques de la végétation spontanée, temporaire ou permanente, et de la végétation agricole et agroforestière (cf. fig. 1b).

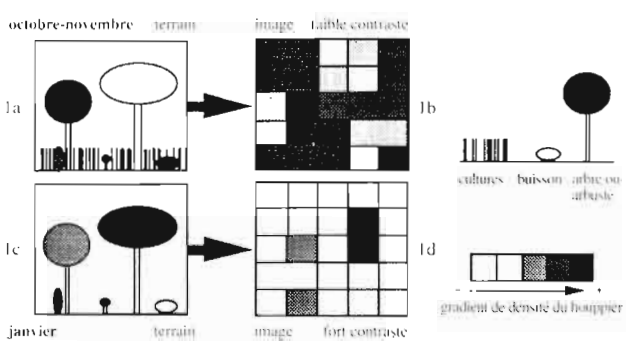
En janvier, par contre, la situation est différente : toutes les cultures pluviales ont été récoltées ; quant à la végétation naturelle, la strate herbacée est desséchée ou a disparu, les strates buissonnantes, arbustives et même arborées se sont rétractées car de nombreuses espèces sont défeuillées (cf. fig. 1c). C'est à cette période que *Faidherbia albida,* en pleine feuillaison, contraste le plus avec son environnement (cf. fig. 1d).

Notre hypothèse est que, même s'il n'est pas toujours très dense, son houppier absorbe suffisamment de lumière pour atteindre le seuil des 30 % de recouvrement et influencer la signature radiométrique du pixel. Il faut toutefois que la taille de l'arbre soit suffisamment importante pour cela ou que plusieurs individus soient assez proches les uns des autres pour agir sur la signature d'un même pixel.

L'image du mois de janvier a donc été choisie pour effectuer l'étude.

FIGURE 1

Evolution du contraste entre les arbres et les strates inférieures selon les saisons



L'IMAGE SATELLITAIRE

La scène est localisée dans la province de l'Extrême-Nord, en plaine du Diamaré, et centrée sur la ville de Maroua. La région étudiée mesure environ 60 km de côté et ses limites sont le mayo Motorsolo et Bogo au nord, Laf au sud, les abords des dunes sableuses de la plaine de Kalfou à l'est et les piémonts Mandara et le mont Loulou à l'ouest **.

La figure 2 est une composition colorée standard de l'image du 2 janvier 1987. Comme nous l'avons indiqué ci-dessus, la végétation active apparaît en rouge.

Sur cette composition colorée apparaissent de nombreuses plages rouges ainsi que des linéaments : dans les vallées des principaux madjé, au fond des talwegs, en bordure des routes, ainsi que dans certains quartiers des principales agglomérations...

Tout ce qui apparaît en rouge ne signale pas, loin s'en faut, des parcs arborés. *Faidherbia albida* n'a pas le monopole de l'activité végétale en janvier...

En effet, si nous avons pu, par le choix d'une date d'arrière-saison, nous débarrasser de la végétation dont le calendrier phénologique suit celui des pluies, la végétation cultivée en contre-saison et la végétation sempervirente subsistent encore.

Sur les terres hydromorphes des karal ***, le sorgho de contre-saison (mouskouari) repiqué en octobre-novembre s'est développé ; le recouvrement du sol par la culture est à son maximum. Pour les variétés les plus hâtives, le feuillage commence à jaunir ; mais, sur de nombreuses parcelles, le mouskouari est encore suffisamment actif pour provoquer une réponse spectrale caractéristique de la végétation verte.

Les champs d'oignons, cultivés en casiers le long des madjé, sont également très actifs puisqu'ils sont irrigués.

Quant à la végétation sempervirente, elle est surtout localisée dans les vergers (manguiers, anacardiers...), les plantations forestière (caïlcédrats...) et le long des rues et des routes (neems...).

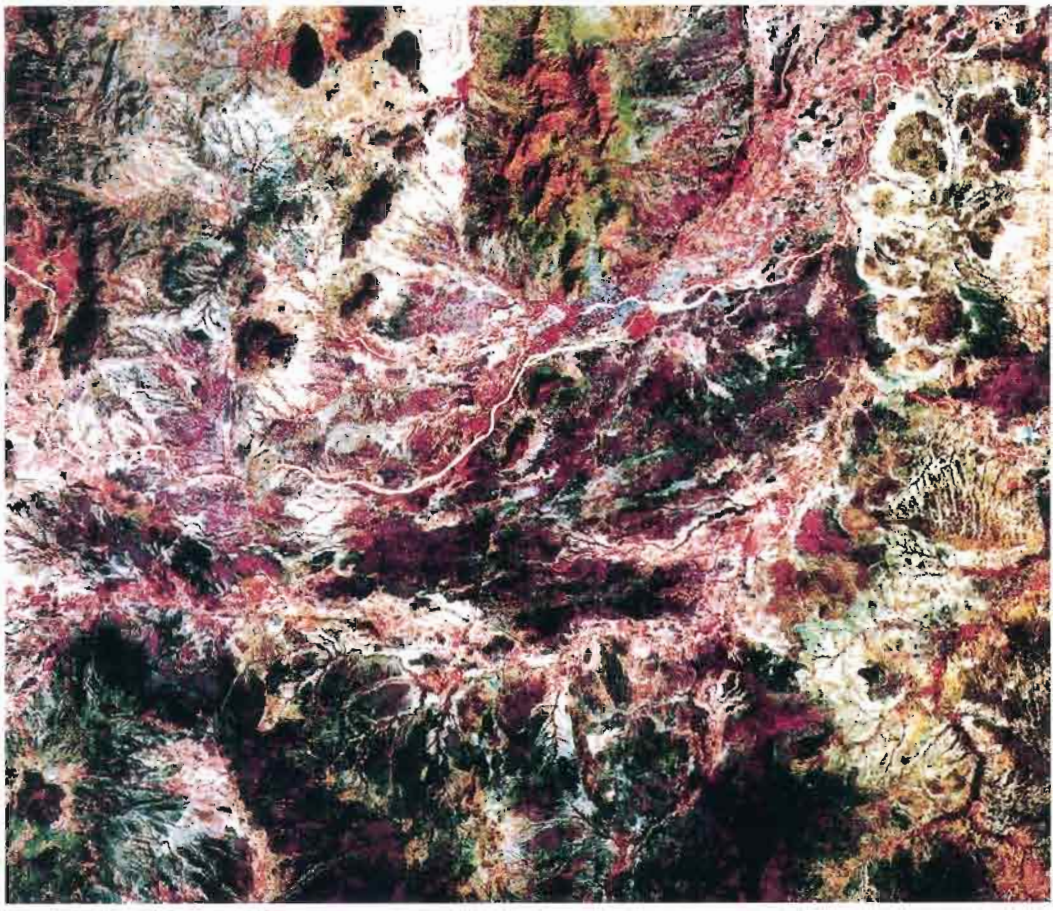
* Au Nord-Cameroun, la saison des pluies dure de juillet à septembre.

** Le satellite suit une trace légèrement oblique et donc la scène l'est également. Les coordonnées géographiques suivantes sont donc approximatives : 10°20' à 10°40' de latitude nord ; 14°10' à 14°30' de longitude est.

*** Karal : sols argileux (vertisols).

FIGURE 2

Composition colorée standard d'une image spot du 2 janvier 1987 dans la région de Maroua au Cameroun



En début de saison des pluies, à gauche, et en début de saison sèche, à droite, la végétation naturelle ou cultivée est active alors que *Faidherbia albida* n'est pas ou est peu feuillé si bien que la télédétection ne peut pas l'identifier.

TRAITEMENT DES DONNÉES INFORMATIQUES

TRI ENTRE LES PIXELS INFLUENCÉS PAR LA VÉGÉTATION ACTIVE

Notre premier objectif est donc d'éliminer au maximum les différentes formations dont l'activité interfère avec celle des parcs, pour mettre ceux-ci en évidence.

La sélection se fait en procédant à deux types de traitements en fonction des valeurs spectrales, puis de l'agencement des pixels.

Pour procéder au tri en fonction de la valeur des pixels, l'histogramme des valeurs est seuillé et une sélection automatique des pixels est ensuite effectuée sur l'image pour ne conserver que les pixels dont les valeurs sont comprises entre les bornes choisies *.

Cette première sélection nécessite de tester plusieurs seuillages jusqu'à obtenir un résultat que l'on juge satisfaisant.

Un premier essai a fait apparaître une multitude de pixels répartis de façon irrégulière à travers la région. Mais un minimum de connaissances de terrain a suffi pour se rendre compte que certains ne correspondaient pas à des arbres de parcs. C'était le cas :

• Des pixels qui apparaissent sur le bombement du socle où se situent Djoulgouf et Hosséré Goboré. Il ne peut s'agir que d'arbres ** appartenant aux formations boisées, claires, qui occupent cette zone et qui sont spontanées ; l'action anthropique se limite à des incursions pour prélever du bois et faire pâturer les troupeaux.

• Des pixels alignés le long des routes, qui n'appartiennent pas aux parcs arborés même si les essences qui composent ces alignements *(Cassia siamea, Azadirachta indica, Khaya senegalensis...)* sont parfois utilisées pour en constituer.

• Enfin, de certains groupes denses de pixels, qui correspondaient sans doute à des champs de mouskouari. En effet, des signatures relevées au niveau des pixels isolés peuvent être similaires à celles de certains champs encore verdoyants.

Puisqu'il s'avérait que certaines valeurs radiométriques ne convenaient pas, celles-ci ont été « testées » les unes après les autres. N'ont été conservées que les valeurs pour lesquelles la majorité des pixels était située à des emplacements probables de parcs. Par contre, lorsque la majeure partie des pixels apparaissaient, pour une signature donnée, dans des aires répertoriées comme étant des zones de forêts ou des terres de karal, la valeur correspondante a été abandonnée.

Ce premier traitement fait essentiellement disparaître les pixels correspondant aux champs de mouskouari. Mais les linéaments qui signalent les bordures des routes, les plantations... ont des valeurs proches de celles des parcs et n'ont pas été éliminés par cette méthode.

Une seconde étape est donc nécessaire, qui consiste à faire un tri en fonction de la disposition des pixels entre eux. En effet, la connaissance de la région étudiée permet de savoir que, dans les parcs, les arbres sont très rarement jointifs et qu'ils ne sont jamais alignés. Sachant cela, nous sommes autorisés à procéder à un second tri qui élimine les alignements de pixels ainsi que les particules comptant plus de quatre pixels connexes.

Cette seconde sélection fait disparaître de nombreux pixels de bordure de route mais non pas tous.

La figure 3 est une image binaire, sur laquelle les pixels de végétation active correspondant sans doute à des parcs arborés, apparaissent en noir alors que tous les autres ont été mis en blanc.

Il serait possible de restreindre encore le nombre de pixels « indésirables », en modifiant le seuillage de l'histogramme des valeurs ; mais l'opportunité de cette modification est discutable car cela ne manquerait pas de faire disparaître, en même temps que des pixels indésirables, d'autres qui correspondent réellement à des parcs. Le gain éventuel serait annihilé par les pertes.

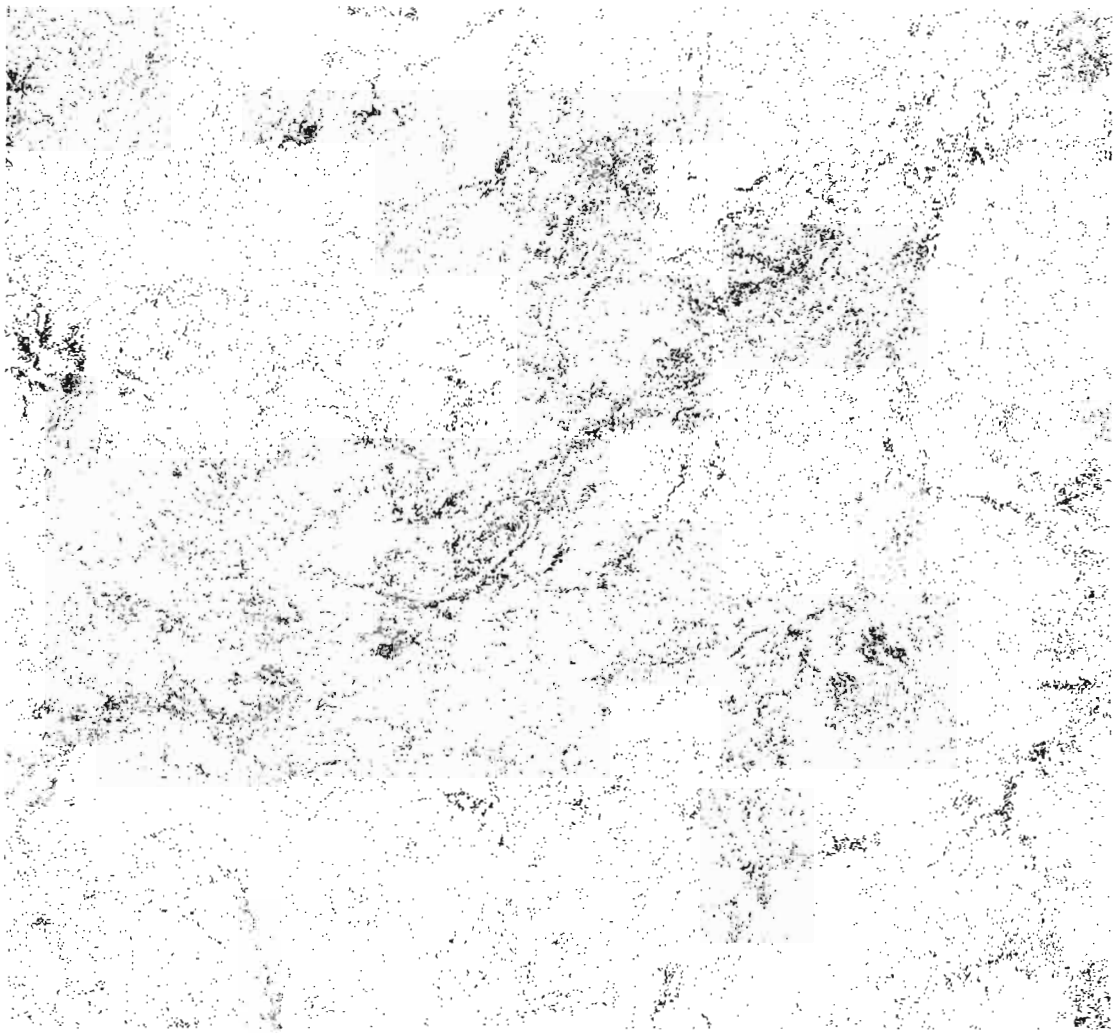
Rappelons ici qu'une image n'est pas une photographie et qu'un pixel ne correspond pas obligatoirement à un arbre. Un pixel caractéristique de végétation active correspond à une surface sur le terrain où la végétation couvre 30 % et plus de la superficie. Mais ce taux peut être atteint par plusieurs arbres peu couvrants ou par un seul gros arbre à vaste houppier. Un seul arbre de très grande dimension peut parfois suffire à influencer la signature spectrale de plusieurs pixels (cf. fig. 4).

Il n'est donc pas question d'envisager un comptage des arbres en fonction du nombre de pixels. Tout au plus peut-on chercher une corrélation éventuelle, sur une zone donnée, entre le taux de pixels sélectionnés par le tri et la densité des arbres dans le parc, ou le taux de recouvrement des houppiers d'arbres actifs.

* Les programmes utilisés pour le seuillage et pour le tri des données sont présentés dans le guide de RAKOTO-RAVALONTSALAMA, ANDRIANASOLO et MERING, 1988.
** Dont plusieurs espèces de Ficus.

FIGURE 3

Image binaire sur laquelle les pixels de végétation active apparaissent en noir



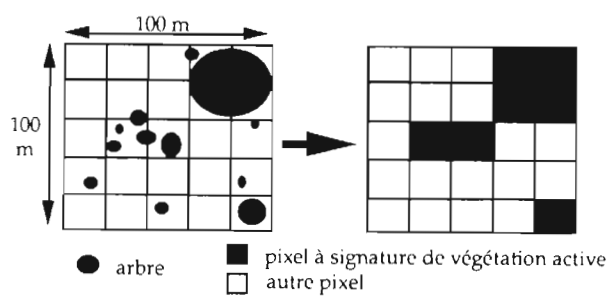
TRANSFERT DE L'IMAGE BINAIRE SUR SIG

Afin de faciliter la cartographie et de tenter de réaliser des études de densité par zone, nous avons estimé nécessaire de transférer les données de l'image binaire (cf. fig. 3) sur un Système d'Informations Géographiques (ARC Info).

Par ailleurs, une interprétation visuelle de la figure 2 a été nécessaire pour rentrer sur le SIG les limites et tracés des principales données topographiques (massif montagneux, rivières...) et de quelques routes. Enfin, le fonds de carte IGN a permis de repérer les coordonnées (latitude et longitude) de quelques points visibles sur la figure 2 et de « caler » ainsi l'image en coordonnées géographiques. Les points de végétation active situés dans la ville de Maroua (neems ou caïlcedrats) ainsi que ceux situés sur les massifs montagneux *(Ficus spp.)* ont été éliminés. On trouvera en figure 5, p. 210, une carte obtenue ainsi.

FIGURE 4

Différents cas de figure illustrant la non adéquation nombre d'arbres/nombre de pixels de végétation active



PREMIERS RÉSULTATS ET LIMITES

EXTENSION ET LOCALISATION DES PARCS

La figure 5 nous permet de localiser les parcs arborés. Le semis de points verts se répand à travers tout le Diamaré, avec des localisations privilégiées dans les secteurs cultivés sur alluvions (vallées) et sur les piémonts de certains massifs montagneux *.

On note des densités particulièrement importantes sur les alluvions anciennes et récentes de la Tsanaga et du mayo Boula et, d'une façon générale, aux alentours de Maroua. Moins denses mais régulièrement distribués, d'autres points couvrent les bas de versant et les piémonts des reliefs Mandara.

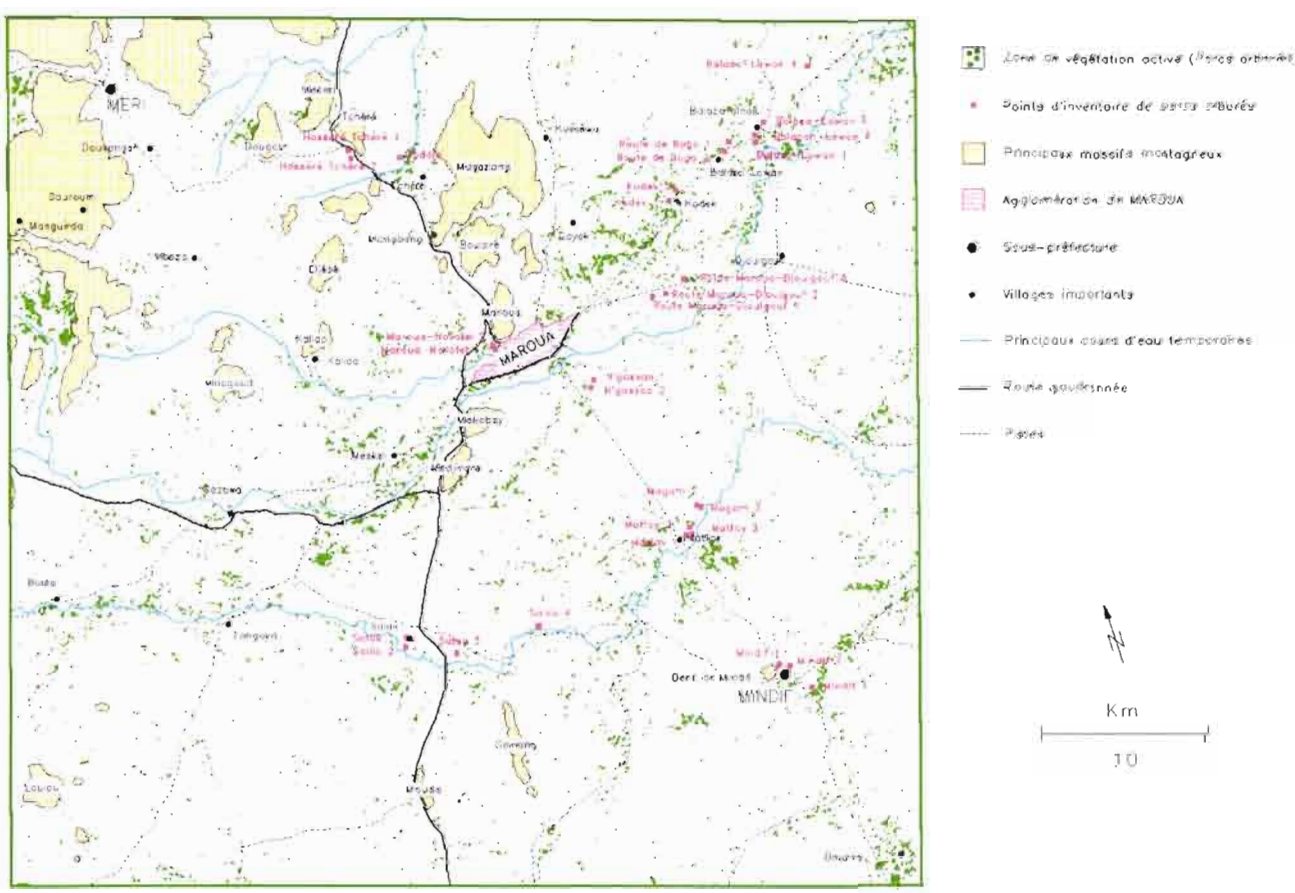
Les plages ne comportant que de rares points correspondent, en général, aux vertisols les plus hydromorphes et aux terres dégradées. Certains Hardé particulièrement stériles n'en compte aucun (Hardé de Salak, de Balaza-Lamido et Hosséré Goboré ; Hardé situés entre les madjé Motorsolo et Kaliao).

Il est possible de comptabiliser automatiquement le nombre de pixels verts et de connaître ainsi la superficie qu'ils couvrent. Sur l'ensemble de l'image, environ 250 000 pixels seraient influencés par des arbres pouvant appartenir à des parcs. Un pixel correspondant à une tachèle de 400 m^2 sur le terrain, les zones assimilables à des parcs couvriraient une superficie de 10 200

* Pour la correspondance entre la localisation des parcs arborés et les types de sols, on se reportera aux travaux de BRABANT et GAVAUD, 1985.

FIGURE 5

Essai de cartographie des parcs arborés de la région de Maroua.
Analyse d'image spot : C. TRIBOULET ; cartographie sur S.I.G. : C. BERNARD.



hectares environ, sur les 360 000 ha couverts par l'image, soit environ 3 %.

Cependant la figure 5 ne prend pas en compte de nombreuses parties du parc où les arbres sont trop rares ou trop jeunes . La superficie indiquée est donc très largement sous-estimée et n'a qu'une valeur indicative. Une étude sur le terrain est nécessaire pour tenter de corréler cette estimation de surface avec une densité des parcs ou un taux de recouvrement des houppiers.

LIMITES DE VALIDITÉ DE LA CARTOGRAPHIE

La représentation cartographique à laquelle nous avons abouti possède des limites qu'il faut connaître afin de mieux juger et apprécier les résultats.

Les parcs trop jeunes ont un taux de recouvrement au sol insuffisant (moins de 30 % de végétation active) pour que leur signature soit visible au niveau du pixel.

Etudiées l'une après l'autre, conservées ou rejetées, les signatures sélectionnées ont abouti à une localisation des parcs arborés. Celle qui a été jugée comme la plus satisfaisante n'est toutefois pas idéale, pour plusieurs raisons :

- Même si le choix de l'image de janvier élimine la plupart des arbres à feuilles caduques, les *Faidherbia albida* ne sont pas les seuls à avoir été ainsi cartographiés. Les espèces sempervirentes ont été également sélectionnées sans qu'il soit possible de les éliminer par leur signature : *Ficus spp., Azadirachta indica, etc.* Il serait donc plus juste de parler d'une carte des « parcs à dominance de *Faidherbia albida* » plutôt que d'une « carte des parcs à *Faidherbia albida* » ;

- Seuls les arbres à grands houppiers, ceux qui sont suffisamment denses, ou les bosquets de petits arbres, ont un taux de recouvrement du sol suffisant pour que leur signature soit visible au niveau du pixel *. On voit ainsi que la cartographie a sans doute négligé les parcs peu denses, les jeunes parcs ou les arbres émondés.

- Le choix des valeurs radiométriques à conserver, même basé sur les connaissances de terrain, reste très subjectif. Il a certes permis d'éliminer la plupart des pixels inadéquats, cependant des pixels de parcs ont inévitablement été éliminés lors de la procédure. Par contre, le seuillage n'a pas permis de se débarrasser totalement des alignements de bord des routes sans perdre trop de pixels de parcs.

Pour ces raisons, la cartographie a donc des points forts mais aussi des limites :

- les localisations des parcs sont certainement exactes ;

- la densité des pixels conservés est sans doute proportionnelle au taux de recouvrement des houppiers sur le terrain ;

- mais la densité réelle des parcs, qui prend en compte tous les individus même jeunes ou émondés, n'est pas connue ;

- de même, la proportion *Faidherbia albida* /autres arbres ne peut pas être connue de cette façon ;

- la superficie occupée par les parcs à *Faidherbia albida,* fonction du nombre de pixels, n'est donnée qu'à titre indicatif.

* Rappelons qu'il faut environ 30 % de végétation active au niveau de la tachèle pour que le pixel ait une signature caractéristique de végétation active.

RELEVÉS DE TERRAIN ET AJUSTEMENT DES RÉSULTATS

LES INVENTAIRES DE TERRAIN : UNE MÉTHODE COMPLÉMENTAIRE NÉCESSAIRE

Pour connaître la composition et la densité des parcs, comme pour valider la localisation des points des figures 3 et 5 et estimer la corrélation entre le nombre de pixels et le nombre d'arbres, une phase de travail de terrain est indispensable.

Pour des raisons matérielles, il n'a pas été possible de vérifier la totalité des localisations présumées. Mais une campagne de terrain, réalisée en partie grâce aux moyens humains et matériels du Centre de Recherches Forestières de Maroua, a permis d'étudier un échantillon de trente parcs arborés, d'une superficie d'un hectare chacun. Ces parcs sont localisés dans un rayon d'une trentaine de kilomètres autour de Maroua. Ils sont indiqués par un carré rouge sur la figure 5.

Pour chacun de ces parcs, le nombre d'arbres, les espèces, la surface des houppiers * ont été comptés et mesurés. Une mesure supplémentaire, le diamètre du tronc à une hauteur de 1,30 m, a été enregistrée pour les *Faidherbia albida* uniquement.

COMPOSITION DES PARCS

Le tableau II synthétise les résultats des inventaires de terrain sur la composition ligneuse des parcs ; il donne un aperçu des espèces les plus couramment rencontrées et propose quelques statistiques quant aux taux de recouvrement et aux densités.

- **Une grande diversité d'espèces**

Dans la plupart de ces parcs, *Faidherbia albida* est largement dominant. Les espèces qui l'accompagnent sont :

• *Azadirachta indica, Balanites aegyptiaca, Acacia nilotica, Acacia seyal, Ziziphus mauritiana* pour les plus courantes ;

• mais aussi *Adansonia digitata, Borassus aethiopum, Hyphaene thebaica, Ficus platiphylla et gnaphalocarpa, Tamarindus indica, Bombax costatum, Sclerocarya birrea, etc.*

• enfin, plus rarement, nous avons relevé la présence de *Cassia spp., Anogeissus leiocarpus, Vitex doniana, Acacia polyacantha, Euphorbia spp.*, etc.

* Il s'agit, en fait, de la surface estimée de la projection au sol du houppier.

- **Un recouvrement du houppier et une densité des arbres très variable**

Sur l'ensemble de notre échantillon de trente parcs, le taux de couverture de la parcelle est en moyenne de 13,48 % (dont 10,77 % par les *Faidherbia albida*) mais avec de grands écarts à la moyenne, de 3,48 à 33,9 % (2 à 32,74 % pour *Faidherbia albida*). On se rend compte que, même dans le cas des parcs les plus denses (de cette région), la couverture par les arbres n'excède guère le tiers de la superficie de la parcelle.

Le nombre d'arbres par parcelle est très variable, en fonction surtout de l'âge des arbres et de la présence ou non de jeunes individus dans les strates inférieures. Le nombre d'arbres varie de 6 à 98 dans notre échantillon, avec une moyenne de 23 arbres par parcelle d'un hectare de parc. On remarquera d'ailleurs que le parc le plus dense, d'un point de vue taux de recouvrement (33,9 %), ne compte que 25 arbres, le parc le plus peuplé (98 arbres) ayant lui un taux de recouvrement inférieur à 20 %.

- **Les parcs sont associés à plusieurs types d'occupation du sol mais pas aux cultures de contre-saison**

Si la dominance de *Faidherbia albida* est un trait commun des parcs de notre échantillon, on ne perçoit par contre aucune uniformité quant à l'occupation du sol sous les frondaisons des arbres. Plusieurs types de cultures ont été signalés, excepté les champs de mouskouari : parcs sur sorgho, coton, niébé, pois de terre, petit mil, jachères, sols dégradés ou combinaison de ces divers types d'occupation. L'absence du sorgho de contre-saison s'explique aisément : il s'agit d'éviter la concurrence tant pour la lumière que pour les réserves en eau du sol, pendant la saison sèche.

- **Dans l'ensemble, les parcs ont des populations bien équilibrées et les houppiers sont peu élagués**

Les mesures de superficie effectuées sur les houppiers de tous les arbres des parcs, ainsi que les mesures de diamètre du tronc sur *Faidherbia albida* nous donnent la possibilité de mettre en rapport houppiers et troncs chez les *Faidherbia albida ;* la figure 6, p. 214, montre la grande homogénéité des parcs. La taille du tronc et celle du houppier augmentent simultanément et régulièrement. Les tailles les plus représentées sont comprises entre 0 et 150 m^2 pour la surface du houppier ; 50 cm et 2 m pour le périmètre du tronc. Les individus situés très

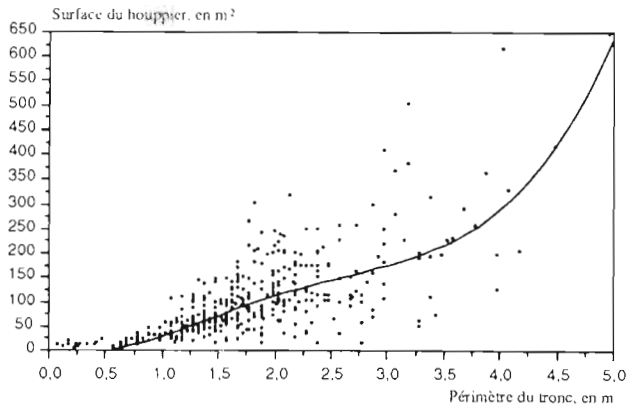
TABLEAU II

Composition d'un échantillonnage de 30 parcs arborés de la région de Maroua.
Espèces en présence et taux de recouvrement

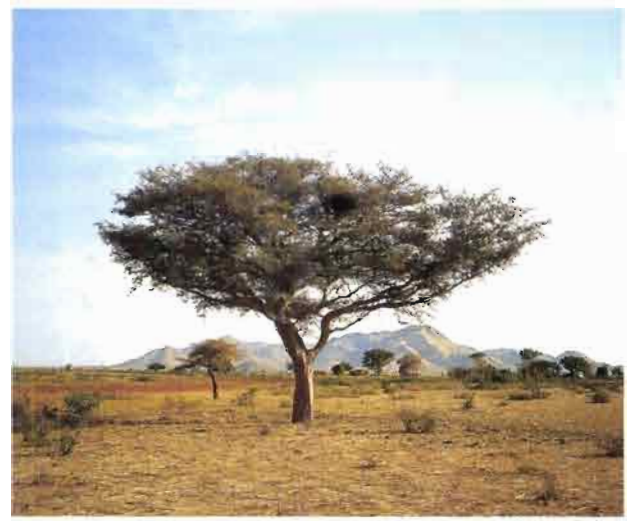
N° parc	Localisation du parc	*Faidherbia albida*	*Acacia nilotica*	*Acacia seyal*	Baobab	Neem	*Balanites aegyptiaca*	Kapokier	*Ficus spp.*	Doum + Rônier	*Sclerocarya birrea*	Tamarinier	Jujubier	Divers *	Nombre d'arbres	Taux de recouvrement (en %)			Utilisation du sol de la strate inférieure
																TR total parcelle	TR *F. albida* uniquement	TR *F. albida* – TR total	
1	Balaza-Lawan 1	+				+			+	+					17	16,43	15,46	94,08	sol dégradé
2	Balaza-Lawan 2	+				+	+					+			22	12,52	11,62	92,80	sorgho + mil
3	Balaza-Lawan 3	+				+									20	12,83	12,69	98,89	sorgho + divers
4	Balaza-Lawan 4	+					+						+		17	10,16	8,49	83,63	coton + sorgho + jachère
5	Godola	+										+			6	3,48	2,00	57,53	sol dégradé
6	Hosséré Tchéré 1	+	+			+							+	+	16	5,70	2,62	45,96	sol dégradé
7	Hosséré Tchéré 2	+				+									11	9,60	8,94	93,14	sol dégradé
8	Kodek 1	+		+			+								25	33,90	32,74	96,57	sorgho
9	Kodek 2	+	+	+			+					+			20	17,58	12,88	73,27	sorgho
10	Matfay 1	+	+			+	+								19	3,35	3,05	90,87	sorgho
11	Matfay 2	+		+		+									27	13,96	12,27	87,92	jachère
12	Matfay 3	+	+		+	+			+	+			+		29	18,37	9,52	51,81	sorgho + jachère
13	Mindif 1	+									+	+			16	4,83	3,68	76,18	sorgho
14	Mindif 2	+													16	13,62	13,62	100,00	sorgho
15	Mindif 3	+							+				+	+	7+ **	16,71	12,39	74,17	coton
16	Mogom 1	+			+										20	8,33	7,98	95,71	coton
17	Mogom 2	+													19	11,85	11,85	100,02	sorgho
18	N'Gassao 1	+	+	+		+	+				+				28	9,79	4,07	41,59	sorgho
19	N'Gassao 2	+	+			+								+	15	8,55	7,00	81,88	sorgho + niébé + pois
20	Novotel 1	+													27	14,88	14,72	98,90	sorgho + niébé + pois
21	Novotel 2	+													32	23,30	23,20	99,57	sorgho
22	Route de Bogo 1	+	+			+	+								29	17,64	15,68	88,87	coton
23	Route de Bogo 2	+	+			+	+								98	18,63	11,14	59,80	sorgho + jachère
24	Rte Maroua-Djoulgouf 1	+		+		+	+								22	29,49	25,46	86,3	sol dégradé
25	Rte Maroua-Djoulgouf 2	+	+			+	+		+				+		51	12,15	6,99	57,54	sol dégradé
26	Rte Maroua-Djoulgouf 3	+	+	+			+				+	+	+		30	13,81	1,73	12,51	coton + sorgho
27	Salak 1	+						+	+						11	9,07	4,98	54,98	sorgho
28	Salak 2	+							+				+		14	19,54	15,57	79,67	sorgho
29	Salak 3	+				+		+		+		+	+	+	18	7,38	4,32	58,60	sorgho + divers
30	Salak 4	+				+				+			+	+	16	6,84	6,57	96,12	jachère
												Nombre total d'arbres :			**698**				
	* divers : *Cassia spp.*, euphorbes, *Anogeissus leiocarpus*, *Acacia polyacantha*, *Vitex doniana*, etc											Nombre moyen d'arbres par parc :			**23,27**	**13,48 %**	**10,77 %**	**79,95 %**	
	** Groupe d'arbres, en bordure de mayo surfaces (%) et espèces relevées, mais arbres non denombrés.															TR moyen	dont *F. Albida*	TR *F. Albida*/TR total	

FIGURE 6

Rapport entre la superficie du houppier et la taille du tronc de *Faidherbia albida*.



en dessous de la ligne moyenne sont les arbres qui ont un houppier inférieur à la normale ; ce sont les arbres qui ont été émondés. On note qu'ils ne sont pas très nombreux, ce qui s'explique par le fait que *Faidherbia albida* est un arbre protégé, n'étant émondé dans cette région qu'en cas de nécessité et non pas par pratique courante. Au-dessus de la ligne moyenne se situent au contraire les individus bien développés, dont le houppier est plus vaste que la normale. Enfin, on notera l'existence de quelques très grands arbres dont le houppier couvre de 400 à 650 m^2 ; ceux-là sont capables de modifier la signature spectrale de plusieurs pixels mitoyens.



Exemple de *Faidherbia albida* isolé (en saison sèche) possédant un houppier de plusieurs centaines de m^2, capable de modifier la signature spectrale de plusieurs pixels mitoyens.

AJUSTEMENT DES ESTIMATIONS DE SUPERFICIE EN FONCTION DES RELEVÉS DE TERRAIN

Il n'a pas été possible de corréler la densité réelle des arbres de parc (mesurée sur les trente parcelles inventoriées) et la densité de points de végétation active (mesurée par analyse des images SPOT).

CONCLUSION

L'imagerie satellitaire permet de dresser une carte des localisations présumées des parcs arborés. Sur cette carte se trouvent encore de nombreuses erreurs, mais elle représente un point de départ pour procéder à des vérifications de terrain plus rapides et plus pertinentes ; donc un gain de temps et une baisse des coûts pour une étude ultérieure plus fouillée.

En ce qui concerne l'étude des parcs sur le terrain et les résultats qualitatifs et quantitatifs obtenus, notre échantillon offre certainement une bonne représentativité des parcs de la plaine du Diamaré ; par contre, il est probable que les parcs des piémonts et des hossérés sont différents, tant au point de vue de leur composition que de la densité ou de la taille des arbres.

Par manque de temps et de moyens, cette étude n'a pu être menée que sur un nombre restreint de parcs, choisis parmi les plus facilement accessibles. Il faut en tenir compte dans l'appréciation des résultats.

Enfin, nous rappellerons que cette étude ne porte que sur les parcs à *Faidherbia albida* dominant et qu'elle ne peut convenir aux parcs dont les arbres suivent le calendrier phénologique « classique » des cultures pluviales.

Remerciements : *Nous remercions Oscar EYOG MATIG, responsable des antennes du CRF à Maroua et Garoua, et Jean-Michel HARMAND, du CIRAD-Forêt, qui ont contribué au bon déroulement de cette mission en fournissant*

véhicule et personnel ; M. TAPSOU qui a participé aux relevés des parcs ; R. PELTIER, qui a encouragé et appuyé cette étude et C. BERNARD pour la réalisation de la cartographie sur SIG. ■

C. TRIBOULET
ORSTOM
72 route d'Aulnay
93143 Bondy CEDEX (France)

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BARIOU (R.), LECAMUS (D.), LE HENAFF (F.), 1985. — Indices de végétation. *In :* Dossiers de télédétection. Rennes, France, Université de Rennes 2, Haute-Bretagne, Centre Régional de Télédétection, 121 p. + 29 p. biblio.

BESCOND (P.), 1984. — The SPOT satellite System, vision 1984. Kiruna. Toulouse, France, CNES, 12 p.

BRABANT (P.), GAVAUD (M.), 1985. — Les sols et les ressources en terres du Nord-Cameroun : Cartes et notices explicative n° 103. ORSTOM, MESRES, IRA. Paris, France,ORSTOM, 285 p. + 6 cartes couleur hors texte, au 1/500 000.

GIRARD (M.C.), GIRARD (C.M.), 1989. — Télédétection appliquée : zones tempérées et intertropicales, Collection Sciences agronomiques. Paris, France, Masson, 260 p.

GOUROU (P.), 1991. — L'afrique, nain ou géant agricole ? Paris, France, Flammarion, 225 p.

LIBERT (Ch.), 1990. — Influence des parcs arborés sur la production des cultures associés au Nord-Cameroun, mémoire de troisième année d'Ingénieur des Techniques Forestières. Nogent-sur-Vernisson, France, 62 p. + annexes.

MINISTÈRE DE LA COOPÉRATION ET DU DÉVELOPPEMENT (République Française), 1991. — Mémento de l'Agronome, 4e édition (rev. et augm.), Collection Techniques Rurales en Afrique. Paris, France, Ministère de la Coopération et du Développement, 1 635 p.

PAUL (S.), DEPECKER (L.), GOILLOT (C.), LENCO (M.), 1991. — Introduction à l'étude de la télédétection aérospatiale et de son vocabulaire, Ministère de l'Education Nationale, Direction des Enseignements supérieurs. Paris, France, La Documentation Française, 316 p.

PELISSIER (P.), 1966. — « Les paysans du Sénégal ». St Yrieix, France, Fabrègue.

PELISSIER (P.), 1980. — L'arbre dans les paysages agraires de l'Afrique noire, p. 131-136. *In :* L'arbre en Afrique tropicale : la fonction et le signe, Cahiers ORSTOM, série Sciences Humaines ; vol. XVII, n° 3-4. Paris, France, ORSTOM, 193 p. + carte hors texte.

RAKOTO-RAVALONTSALAMA (M.), ANDRIANASOLO (H.), MERING (C.), 1988. — Guide de l'utilisateur de Planètes : Manuel interne du Laboratoire d'Informatique Appliquée, 1re version. Bondy, France, ORSTOM, 130 p.

SEIGNOBOS (C.), 1982(a). — Végétations anthropiques dans la zone soudano-sahélienne : la problématique des parcs. Revue de Géographie du Cameroun, III (1), p. 1-23.

SEIGNOBOS (C.), 1982(b). — Matières grasses, parcs et civilisations agraires (Tchad et Nord-Cameroun). Cahiers d'Outre-Mer, 35 (139), p. 229-269.

Crédit photos R PELTIER

RÉSUMÉ

Bien que plusieurs types de parc aient été décrits au Nord-Cameroun, il n'existait aucune donnée sur leur extension et leur densité. C'est pour commencer à préciser ces points que l'auteur a effectué une analyse d'images satellitaires et des inventaires au sol, puis a réalisé une cartographie.

Sur des images satellitaires, il est possible d'identifier la végétation chlorophyllienne active qui influence les valeurs de réflectance de la lumière visible. En fin de saison des pluies, il n'est pas possible de distinguer entre champs cultivés, pâturages, arbres... la plupart des éléments du paysage étant couverts de végétation active. Par contre, au mois de janvier, en pleine saison sèche, *Faidherbia albida* est couvert de feuillage vert, alors que de nombreuses espèces d'arbres sont défeuillées et que les cultures pluviales n'existent plus. C'est donc sur les images de cette période qu'ont été identifiés les pixels (carrés de 20 × 20 m) sur lesquels se trouvait de la végétation active (points rouges sur la composition colorée standard de la figure 2, p. 207).

Un premier tri a permis d'éliminer les pixels dont la valeur spectrale est proche des cultures encore en place au mois de janvier (sorgho muskwari, oignons, fruitiers).

Un second tri a éliminé les pixels alignés (plantations d'arbres de bord de route) et les groupes de plus de quatre pixels contigus (vergers, boisements...). Les pixels restants sont représentés en noir sur la figure 3, p. 209. Mais les gros arbres influencent plusieurs pixels alors que les petits arbres, lorsque leur houppier ne couvre pas plus de 30 % d'un pixel, ne l'influencent pas. Enfin certains types de végétation active, en particulier les arbres encore feuillés (*Ficus spp.* ou *Azadirachta indica* isolés...), n'ont pas pu être distingués des *Faidherbia albida*.

Les données de la figure 3 ont été transférées sur un logiciel de Système d'Information Géographique (Arc Info) pour être cartographiées. Certaines données de l'image ou de la carte IGN (massifs montagneux, routes, cours d'eau, villes et villages) ont été rajoutées. Les taches de végétation présentes en ville *(Azadirachta indica, Khaya senegalensis)* ou sur les montagnes *(Ficus spp.)* ont été éliminées (cf. fig. 5, p. 210).

Par comptage des pixels restants, on trouve ainsi une valeur minorée de la surface des parcs qui est égale à 10 000 ha, soit 3 % de la zone couverte par l'image.

Par ailleurs, un inventaire de trente parcelles d'un hectare, situées dans les zones identifiées comme parcs arborés, a été réalisé. Celui-ci montre que *Faidherbia albida* est largement dominant dans ces parcs, mais qu'il est associé à de nombreuses espèces locales d'arbres *(Balanites aegyptiaca, Acacia nilotica, Ziziphus mauritiana, Adansonia digitata, Borassus aethiopum,...)* et à une espèce exotique très fréquente *(Azadirachta indica)*.

En moyenne, on trouve que le taux de recouvrement des houppiers est de 13 % (11 % pour le seul *Faidherbia albida*) et que le nombre d'arbres est de 23 individus par hectare. Les types de culture ayant été pratiqués en saison des pluies précédentes sont très variables.

Malheureusement, cette étude n'a pu être terminée et il n'a pas été possible de corréler la densité réelle des arbres (ou le taux de recouvrement des houppiers) et la densité de points de végétation active, mesurée par étude des images satellitaires. Il n'est donc pas possible d'évaluer le nombre d'arbres présent sur la zone de l'image.

L'étude des images satellitaires permet donc de dresser des cartes de localisation présumée des parcs à *Faidherbia albida,* ce qui facilite les études et inventaires ultérieurs.

Mots-clés : *Faidherbia albida.* Inventaire forestier. Composition botanique. Télédétection. Végétation. Photosynthèse.

ABSTRACT

Although several types of parklands had already been described in northern Cameroon, no data existed about their area and density. The author has thus carried out a remote sensing analysis and ground field surveys, in order to start specifying these points, followed by a mapping operation.

In remote sensing images, it is possible to identify the active chlorophyllous vegetation which has an effect on available light reflectivity values. At the end of the rainy season, it is impossible to make a distinction between cultivated fields, pastureland, and trees,... because most of the features of the landscape are covered with active vegetation. Conversely, in January, at the height of the dry season, *Faidherbia albida* is covered with green foliage, while many tree species are leafless, and rain-based crops are not present at all. So it is in images from this period that the pixels (squares of 20 × 20 m) have been identified, where active vegetation can be found (red dots on the standard coloured composition of fig. 2, p. 207).

An initial sorting helped to eliminate those pixels whose spectral value is akin to that of crops still in situ in January (muskwari sorghum, onions, fruit trees).

A second sorting did away with aligned pixels (roadside tree plantations) and groups of more than four adjacent pixels (orchards, forested areas). The remaining pixels are represented in black on figure 3, p. 209. But large trees have an effect on several pixels, whereas small trees have no effect on them, when their canopy does not cover more than 30 % of a pixel. Lastly, some types of active vegetation, in particular trees with their leaves still intact (*Ficus spp.* or isolated specimens of *Azadirachta indica*) have been impossible to distinguish from *Faidherbia albida*.

The data given in figure 3 have been transferred on to Geographic Information System (Arc Info software) to be mapped. Some image or IGN map data (mountain ranges, roads, watercourses, towns and villages) have been added. The patches of vegetation present in towns *(Azadirachta indica, Khaya senegalensis)* and in mountains *(Ficus spp.),* have been removed (cf fig. 5, p. 210).

By counting the remaining pixels, we thus find an underestimated value of the area of the plots which is equivalent to 10,000 hectares, i.e. 3 % of the zone covered by the image.

Furthermore, a survey of 30 plots of one hectare each, situated in zones identified as tree parklands, has been drawn up. This shows that *Faidherbia albida* is largely dominant in these plots, but also that it is associated with numerous local tree species *(Balanites aegyptiaca, Acacia nilotica, Ziziphus mauritiana, Adansonia digitata, Borassus aethiopum...)* and with one very frequent exotic species *(Azadirachta indica)*.

On average, we find that the rate of canopy coverage is 13 % (11 % just for *Faidherbia albida*) and that the number of trees is 23 specimens per hectare. The types of crops grown in the previous rainy season are very variable.

Unfortunately, this study remains unfinished, and it has not been possible to correlate the real density of the trees (or the rate of recovery of the canopy) and the density of active vegetation points measured by remote sensing. So it is not possible to assess the number of trees present in the image zone.

Remote sensing thus helps to draw up presumable location maps of *Faidherbia albida* parklands, which makes subsequent studies and surveys much easier.

Key words : *Faidherbia albida.* Forest surveys. Botanical composition. Remote sensing. Vegetation. Photosynthesis.

UNE MÉTHODE ORIGINALE POUR PLANTER ET GÉRER *FAIDHERBIA ALBIDA*

Croissance initiale des plants et microclimatologie sous arbres adultes

d'après Rick J. VAN DEN BELDT

Dans cette plantation de faidherbia, on remarque la grande hétérogénéité de croissance : un groupe de grands arbres, à gauche, et des petits, à droite des paysannes.

Afin d'expliquer la bonne croissance des cultures sous le houppier de *Faidherbia albida*, les chercheurs estiment en général que celui-ci joue le rôle d'une pompe qui remonterait dans son houppier les éléments nutritifs fixés par les symbiontes ou absorbés par les racines, puis les déposerait à la surface du sol par les retombées de litière (C.T.F.T., 1988). Les déjections des animaux qui se reposent à l'ombre des arbres sont également prises en compte. De fait, sous le houppier des arbres, les sols ont des taux d'éléments minéraux et des caractéristiques physiques bien meilleurs qu'à l'extérieur de celui-ci (CHARREAU, VIDAL, 1965 ; DANCETTE, POULAIN, 1969).

Cependant, SANCHEZ (1987) et d'autres auteurs ont émis des doutes sur la validité de cette théorie, en notant que les relations de cause à effet n'avaient pas été démontrées. Il serait alors possible que certains des paramètres de fertilité du sol aient précédé l'installation de l'arbre lui-même.

D'après la littérature, une autre cause de l'« effet *Faidherbia albida* » serait sa phénologie inversée. Bien que l'on n'ait pas publié de résultats de mesures systématiques, de nombreux auteurs estiment que la défoliation de l'arbre pendant la période de végétation des cultures est avantageuse pour celles-ci, l'ombrage étant moins important que sous la plupart des autres espèces arborées.

Ce paradigme pose également problème. Il est en effet évident que les hautes températures de la surface du sol (qui peuvent excéder 60 °C pendant la période d'installation des semis au Sahel) causent des dégâts aux cultures, lorsque les premières pluies sont suivies par des périodes de hautes températures et radiations (PEACOCK *et al.,* 1990).

ONG et MONTEITH (1984) ont aussi démontré que la germination et le développement cotylédonaire du petit mil (*Pennisetum glaucum*) sont fortement liés à la température du sol, dont l'optimum se situe entre 30 et 35 °C ; au-delà de cette température, la germination et la croissance baissent rapidement de façon linéaire.

Des travaux récents du Centre sahélien de l'ICRISAT (Centre International de Recherche sur la Culture des Zones Tropicales Semi-arides) permettent d'émettre des hypothèses nouvelles concernant les interactions entre *Faidherbia albida* et les cultures. Cet article résume ces données et en déduit des propositions sur la mise en place de l'arbre ainsi que sur la gestion des cultures associées.

La version originale de cet article a été proposée par R.J. VAN DEN BELDT en langue anglaise sous le titre : « Alternate models for *Faidherbia albida* site effects. Recent evidence from Niger ». Afin d'harmoniser l'ensemble des publications, R. PELTIER en a fait une traduction légèrement résumée en y ajoutant des titres intermédiaires et des illustrations.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

UN SITE D'ESSAI SAHÉLIEN

Les essais ont été conduits de 1987 à 1991 au Centre sahélien de l'ICRISAT, à Sadoré, Niger, à 45 km au sud-est de Niamey (13° N 2° E). Sur ce site, le sol fait partie de la série de Labucheri ; d'après la classification américaine, ces sols sableux et siliceux sont des « *Psammentic paleustalfs* » isohyperthermiques (WEST *et al.*, 1984). La pluviométrie moyenne est d'environ 540 mm/an ; elle variait entre 400 et 700 mm pendant les années d'étude.

PLANTATION DE FAIDHERBIA

- **Une croissance hétérogène dès la première année**

Lors de cet essai, des semis en pots âgés de trois mois ont été transplantés en août 1987, à un écartement de 2 × 2 m (les graines avaient été récoltées sur vingt semenciers de la région de Sadoré), soit au total 1 326 arbres plantés sur 5 304 m^2. Après avoir effectué un levé topographique, dès 1988 on constata des différences importantes et très localisées dans la croissance des arbres.

Afin de corréler la croissance de *Faidherbia albida* à la fertilité du sol, dix sites ont été échantillonnés jusqu'à une profondeur de 1,5 m par tranches de 10 cm, avec cinq placeaux de mesure situés sur des zones de bonne venue de *Faidherbia albida* et cinq sur celles de mauvais accroissement, puis on effectua les analyses classiques de sol [texture, pH, acidité, bases et Al échangeable, teneur en Ca, K, Na, P (Bray) et carbone organique].

ETUDES PHYSIOLOGIQUES SUR LES CULTURES

- **Une étude sur la production de mil, la température et la lumière sous houppier de *Faidherbia albida* adulte...**

En mai 1990, des études physiologiques ont porté sur les cultures. Il s'agissait, pour la première, d'étudier trois transects à proximité d'un *Faidherbia albida* adulte dans les directions nord, sud-ouest et sud-est, à partir de la base du tronc.

Les caractéristiques dendrométriques de l'arbre étaient les suivantes : 8,5 m de hauteur totale, 0,57 m de diamètre du tronc à hauteur de poitrine, 12,3 m de diamètre moyen du houppier et 3,5 m de hauteur de la base du houppier. La parcelle était utilisée comme témoin de culture traditionnelle (pas d'engrais, ni de culture attelée, ni de rotation) dans un précédent essai.

La moyenne de production de mil sur les trois années précédentes était de 603 kg/ha contre 245 kg/ha (± 52) pour les sept autres parcelles témoins (hors *Faidherbia albida*). La température du sol et les mesures de lumière furent enregistrées sur une période de six jours commençant le 23 mai, veille d'une pluie de 20 mm, et finissant le 29 mai, jour d'une pluie de 40 mm.

L'enregistrement des thermocouples et des photocellules se faisait toutes les vingt secondes, avec calcul de la moyenne toutes les 10 minutes, à l'aide d'un enregistreur de données Campbell CR-21X.

- **...Comparée aux mêmes données sous ombrage artificiel**

Ces données étaient comparées avec celles mesurées près d'une natte en tige de mil (secco) dressées dans la direction nord-sud. La haie donnait une ombre de durée variable suivant la distance à sa base. Un ombrage artificiel, ainsi créé loin de l'arbre, permettait d'éliminer toute confusion avec les modifications de fertilité du sol qu'il pouvait engendrer.

Les placeaux de mil étaient constitués par trois lignes de 5 m de long et de 0,5 m d'espacement, installées à angle droit de la haie de part et d'autre de celle-ci avec quatre répétitions.

La température du sol était mesurée pendant la journée en utilisant un thermomètre à infrarouge toutes les deux heures. On laissa pousser le mil pendant six semaines avant que les tiges ne soient coupées, séchées à l'étuve et pesées.

RÉSULTATS

PLANTATION DE FAIDHERBIA

- **Une hétérogénéité des *Faidherbia albida* plus liée au site qu'à la génétique**

A un an et demi, la hauteur des arbres allait de 44 à 209 cm (CV = 26 %). Le CV entre les arbres situés sur les cinq placeaux de bonne croissance n'était que de 12,3 %, comparable à celui des cinq placeaux de mauvaise croissance. La relation comparable entre les moyennes et les variances des bons et mauvais sites laisse supposer que l'hétérogénéité est plus liée aux conditions de site qu'à l'origine génétique.

Plantation hétérogène de *Faidherbia albida,* avec des arbres rabougris sur la ligne de gauche, au fond, et une tache d'arbres bien-venants au centre et à droite.

- **Pas de relation notable avec la topographie**

La moyenne de hauteur des arbres des bons sites était de 154 cm (± 13 cm), alors qu'elle était de 75 cm (± 13 cm) sur les mauvais. Ces différences n'étaient pas liées à la topographie ; en effet, alors que la dénivellation totale de la parcelle était de 125 cm, celle de la moyenne entre mauvais et bon site était de 30 cm (sans signification statistique).

- **Mais une bien meilleure fertilité du sol des sites de bonne croissance**

La teneur en argile du sol sur les bons sites était le double de celle des mauvais (8,2 % contre 4,8 %, ± 0,15), avec de plus grandes différences entre 20 et 30 cm de profondeur.

Le total des bases échangeables (0,6 contre 0,3 cmol/kg) ainsi que les teneurs en Ca et Mg suivaient la même tendance.

L'acidité échangeable, qui est fiablement reliée à la production de mil dans cette zone du Sahel (SCOTT-WENDT *et al.,* 1986), avait une tendance inverse de façon significative, étant plus élevée sur les mauvais sites (0,20 contre 0,45 cmol/kg).

Les valeurs du P échangeable, bien que significativement différentes, étaient trop proches pour tirer des conclusions claires.

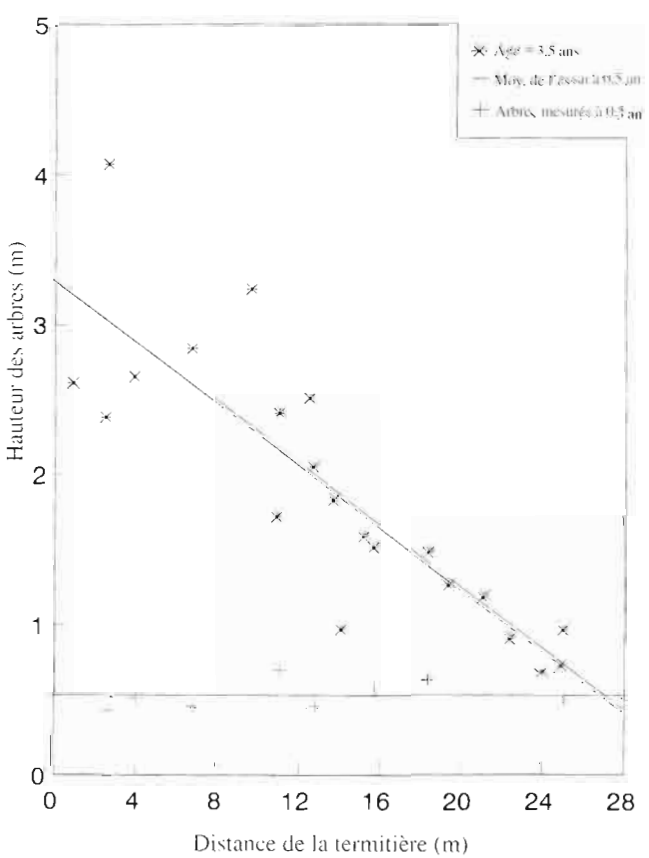
Quatre des cinq bons sites étaient situés sur des termitières érodées, mortes depuis longtemps, dont deux étaient difficilement visibles en surface. De façon caractéristique, seule une lentille d'argile de 1 à 3 m de diamètre et de 5 à 10 cm de hauteur au-dessus du sol attestait l'ancienne présence d'une termitière. L'excavation de deux termitières prouva leur existence jusqu'à la cuirasse de latérite à une profondeur de 4 m.

Il y avait une forte relation linéaire entre la croissance des arbres et leur distance à la termitière (cf. fig. 1).

A 0,5 an, la moyenne des hauteurs des arbres sur tout l'essai était de 0,57 m ; à 3,5 ans, quelques arbres situés près des termitières dépassaient 4 m, tandis que d'autres situés plus loin grandissaient à peine. Cependant, les arbres plantés directement sur la lentille d'argile moururent au cours de la première année, en raison de la trop haute teneur en argile qui limitait le développement racinaire et l'infiltration de l'eau de pluie.

FIGURE 1

Croissance de plants de *Faidherbia albida* à 0,5 et 3,5 ans en fonction de la distance au centre d'une ancienne termitière.



EFFETS MICROCLIMATIQUES ET CROISSANCE DES CULTURES

- **Les températures maximales du sol réduites de dix degrés sous houppier**

Le 23 mai 1991, la veille de la pluie de 20 mm, la température du sol (à 2 cm de profondeur) dépassait 50 °C en dehors du houppier, à 14 heures, contre 43 °C en dessous.

Après la pluie, les températures du sol furent réduites en raison de l'humidification, atteignant des maxima de 45 °C hors du houppier sur le transect sud-ouest et 35 °C en dessous. Ces tendances se confirmèrent durant les six jours de mesure.

- **Des maxima d'intensité lumineuse diminués de moitié à l'ombre de *Faidherbia albida***

Les différences d'intensité de lumière sous et hors houppier sont données en figure 2. La radiation, mesurée le jour relativement nuageux du 25 mai, suit un schéma typique de la saison des pluies. Les mesures de lumière sous houppier varient beaucoup en raison de l'ombrage élevé des grosses branches, de temps en temps, au cours du jour. Les radiations totales pour cette période de six jours ont une moyenne de 20,3 ± 1,1 MJ/m^2. La moyenne des maxima de température de l'air ambiant est de 40,4 ± 1,7 °C.

- **La croissance initiale du mil en augmentation avec la durée journalière d'ombrage**

Sur l'essai avec haie d'ombrage, les moyennes de température de surface du sol à la base de la haie était de 43,3 °C, alors que la température du sol qui se trouve au soleil était de 46,6 °C. L'ombre de la haie, fonction de l'angle du soleil, a permis des différences dans la durée d'ombrage en relation avec la distance à la haie. Six semaines après le semis, le poids des tiges de mil était lié à la durée d'ombrage par l'équation de régression suivante :

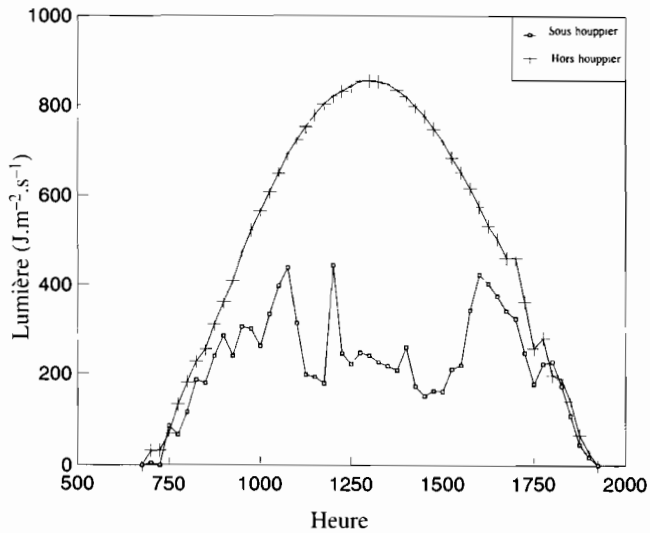
$$Y = -17{,}3 + 0{,}45\ S \quad (r^2 = 0{,}95)$$

ou Y = poids des tiges de mil (g/m^2)

S = durée de l'ombrage (min./j) et $60 \leq S \leq 250$

FIGURE 2

Mesure de l'intensité lumineuse sous et hors houppier d'un *Faidherbia albida* adulte à Sadoré au Niger tout au long de la journée du 25 mai 1991.



DISCUSSION

PEUT-ON RÉDUIRE LES COÛTS DE PLANTATION DE FAIDHERBIA ?

- **La croissance des cultures et des jeunes *Faidherbia albida* est meilleure sur vieilles termitières**

Les importantes variations dans la croissance des cultures en région soudano-sahélienne sont bien connues (SCOTT-WENDT *et al.*, 1986) et ont été en partie attribuées à la proximité des monticules de termitières abandonnées (LAL, 1987).

Sur les sols sableux, l'effet des termitières est due à un enrichissement du sol en argile et en éléments minéraux ramenés par les termites ; par ailleurs, l'eau de pluie ruisselle sur le centre des termitières (constitué d'argile imperméable) vers la périphérie de celles-ci où elle s'infiltre en abondance. Il est probable que les mêmes facteurs pourraient profiter à la croissance des arbres.

En milieu rural, les *Faidherbia albida* issus de la régénération naturelle subissent une forte mortalité en raison du pâturage et des façons culturales. Si l'on estime que la distribution des semences est aléatoire, on en déduit que les croissances les plus rapides ainsi que les meilleurs taux de survie doivent être enregistrés par les graines qui ont germé sur les meilleures microstations.

- **C'est pourquoi la fertilité précède souvent l'installation des arbres**

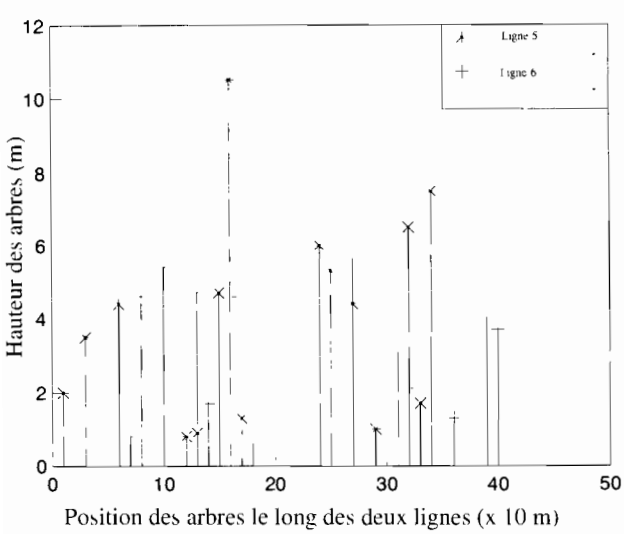
La meilleure productivité des cultures, qui sera par la suite trouvée sous l'arbre devenu adulte, pourra donc être largement due à la fertilité préexistante de la microstation. L'apport complémentaire par les déjections animales ainsi que les cycles de matière organique entre sol et culture, qui interagissent en synergie, viendraient encore améliorer cette fertilité.

- **Dans les plantations à écartement régulier les mortalités et l'hétérogénéité de croissance sont élevées**

Les plantations agroforestières de *Faidherbia albida*, mesurées par l'auteur au Niger, montrent de grandes variations dans la hauteur des arbres. Par exemple dans une plantation de 100 ha, âgée de 15 ans près d'Abala, on a mesuré sur un transect de deux lignes des hauteurs allant de 1 à 10,5 m (cf. fig. 3) ; par ailleurs, la mortalité de la plantation entière dépassait 75 %. Bien que les plus grands arbres de la plantation se répartissent en taches, le phénomène n'est pas évident à observer pour un visiteur occasionnel, qui considère en général que les variations sont d'ordre génétique et portera, par conséquent, tous ses espoirs sur la descendance de ces arbres.

FIGURE 3

Hauteur des faidherbias âgés de 15 ans le long de deux lignes dans la plantation d'Abala au Niger. Distance entre les arbres = 10 m Longueur de la ligne = 500 m



- **Il serait plus économique de ne planter que sur les meilleurs microsites**

Faute de pouvoir attendre les résultats de l'amélioration génétique, il sera plus efficace, dans un premier temps, de planter *Faidherbia albida* sur les microstations de haute fertilité. C'est ainsi que sur la plantation d'Abala, où seuls 12 arbres par ha (sur 100 plantés) dépassent 4 m de hauteur, il aurait été beaucoup plus économique de ne planter ceux-ci que sur ces meilleurs microsites. Au Centre ICRISAT de Niamey, pendant la saison des pluies 91, les *Faidherbia albida* furent plantés sur des microstations fertiles, identifiées par une étude de croissance effectuée sur la précédente culture de mil. Les premiers résultats sont encourageants, mais cette technique devra maintenant être essayée en milieu rural.

FAIDHERBIA ALBIDA PEUT-IL PERMETTRE LA DIVERSIFICATION DES CULTURES AU SAHEL ?

- **Sous le houppier de *Faidherbia albida* se créé un microclimat plus humide...**

Les cultures poussent en général mieux sous les *Faidherbia albida* adultes ; les données présentées ici viennent d'ailleurs le confirmer puisque, outre une éventuelle fertilité préexistante, les cultures bénéficient d'un microclimat favorable pour leur installation, leurs croissance et fructification.

La zone sous houppier pourrait être en effet considérée comme un « milieu écologique transféré » (*ecological shift* : d'après une communication personnelle de J.H. WILLIAMS) qui permettrait l'introduction de cultures que l'on trouve habituellement plus au sud et sur de meilleurs sols.

- **... Qui permet la plantation de cultures soudaniennes**

En raccourcissant les périodes du jour où les températures du sol et des feuilles sont élevées, les dégâts aux tissus végétaux et les pertes de production sont réduits si bien que les cultures peuvent profiter pleinement de la meilleure fertilité du sol sous l'arbre. Dans un essai de l'ICRISAT, du maïs et du coton ont été cultivés avec succès sous le houppier d'un *Faidherbia albida*, dans une zone où seul le mil en association avec le niébé est traditionnellement cultivé. Il existe ainsi des possibilités de diversifier les cultures dans les parcs à *Faidherbia albida* du Niger.

CONCLUSION

- **Les plantations en plein de *Faidherbia albida* ont souvent des résultats décevants...**

Les efforts pour diffuser l'agroforesterie au Sahel n'ont pas été récompensés à hauteur des investissements (KERKHOFF, 1990 ; KESSLER, BREMAN, 1991) malgré tout son intérêt. Des succès enregistrés par le développement comme ceux de CARE dans la vallée de la Majia peuvent être cités, mais rarement reproduits.

Les plantations de *Faidherbia albida* au Niger ont enregistré de tels échecs que les projets de développement se sont rabattus vers la gestion de la régénération naturelle, d'ailleurs avec quelques succès (SUMBERG, 1990).

L'approche paysanne a mieux réussi car on a plus insisté sur les productions directes de l'arbre (bois de chauffage, perches...) que sur ses rôles indirects sur les cultures (limitation du vent, de la chaleur...).

- **... Car les jeunes plants ne poussent bien que sur certaines microstations de bonne fertilité**

La vitesse de croissance d'un plant est fonction de la fertilité de la station où il est installé. Si l'on considère donc l'extrême microvariation des sols sahéliens, même la gestion de la régénération naturelle ne peut pas être couronnée de succès, à moins d'éduquer et de protéger les arbres à croissance lente au-delà de trois années.

Dans la régénération naturelle peuvent se trouver des espèces qui risquent de concurrencer les cultures au niveau de l'eau et des éléments minéraux du sol ; le choix est donc limité aux jeunes arbres qui poussent par chance dans le champ. Le choix des provenances est impossible et cette contrainte est sans doute la plus grave, eu égard aux programmes d'amélioration actuellement en cours au Sénégal, au Burkina Faso et au Niger.

- **Il est donc plus économique de ne planter les arbres que sur celles-ci**

Il est toujours essentiel pour les forestiers d'améliorer la survie et la croissance des jeunes plants ; ceci peut déjà être réalisé en identifiant les microstations de meilleure fertilité, puis en y installant les arbres à une densité de 10 à 15 arbres par hectare au lieu de celle de 100/ha habituellement utilisée. On pourrait ainsi planter dix fois plus d'espace, tout en améliorant le taux de survie et la croissance.

Sur cette plantation de dix ans (Mouda, Cameroun), l'arbre situé à côté du personnage est au moins deux fois plus grand que ceux visibles au second plan, bien qu'ils soient de même provenance. Cependant, dans ce cas, ce sont plus les différences au niveau du sous-sol (accès à la nappe) qu'au niveau du sur-sol qui ont joué, car on se trouve sur dalle de latérite fissurée.

- **Et il sera ensuite possible d'y implanter des cultures de bonne rentabilité**

Mais pour que cette approche puisse être acceptée, encore faut-il que les agronomes et les agroforestiers modifient profondément leur façon de penser. En effet, il est maintenant clair, au moins au Niger, que la fertilité de l'ensemble d'une parcelle ne peut pas être améliorée par l'installation de *Faidherbia albida* en réseau régulier. Planter ces arbres pour maintenir et améliorer la fertilité des meilleures microstations est un objectif

plus facile à atteindre. L'utilisation de ces sites pour diversifier la gamme des cultures, en profitant des conditions écologiques qui prévalent sous le houppier de l'arbre, est l'un des importants défis qui se posent aux agronomes travaillant en développement rural avec *Faidherbia albida.*

Remerciements : *Mes collègues de l'ICRISAT Niamey (Dr. J.H. WILLIAMS et Dr. JOOST BROUWERS), du programme Tropsoils financé par l'agence américaine pour le développement international (Dr. S.C. GEIGER et Dr. ANDREW MANU) et du SNV (G. VAN DER BURG), ont contribué tout autant que moi à cette recherche qui n'aurait pas pu aboutir sans leur participation.* ■

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CHARREAU (C.), VIDAL (P.), 1965. — Influence de l'*Acacia albida* Del. sur le sol, nutrition minérale et rendements des mils *Pennisetum* au Sénégal. Agron. Trop. 6-7 : 660-626.

C.T.F.T., 1988. — *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. (Synonyme : *Acacia albida* Del.). Monographie. Nogent-sur-Marne, France, Centre Technique Forestier Tropical, 72 p.

DANCETTE (C.), POULAIN (J.F.), 1969. — Influence of *Acacia albida* on pedoclimatic factors and crop yields. African Soils 14 : 143-184.

KERKHOFF (P.), 1990. — Agroforestry in Africa, a survey of project experience. London, UK, The Panos Institute.

KESSLER (J.J.), BREMAN (H.), 1991. — The potential of agroforestry to increase primary production in the Sahelian and Sudanian zones of West Africa. Agroforestry Systems 13 : 41-62.

LAL (R.), 1987. — Termites. *In :* R. Lal, (ed.). Tropical Ecology and Physical Edaphology. Chichester, U.K. J. Wiley and Sons, p. 337-421.

ONG (C.K.), MONTEITH (J.L.), 1984. — Response of pearl millet to light and temperature. *In :* Agrometeorology of Sorghum and Millet in the Semi-arid Tropics : Proceedings of the International Symposium, 15-20, November, 1982. Patancheru PO, A.P., India, ICRISAT.

PEACOCK (J.M.), MILLER (W.B.), MATSUDA (K.), ROBINSON (D.L.), 1990. — Role of heat girdling in early seedling death of sorghum. Crop Science 30 : 138-143.

SANCHEZ (P.A.), 1987. — Soil productivity and sustainability in agroforestry systems. *In :* H.A. Steppler and P.K.R. Nair (eds.) Agroforestry : A Decade of Development. International Council for Research in Agroforestry. Nairobi, Kenya, ICRAF, p. 205-223.

SCOTT-WENDT (J.), CHASE (R.G.), HOSSNER (L.R.), 1986. — Soil chemical variability in sandy Ustalfs in semiarid Niger, West Africa. Soil Sci. 145 : 414-419.

SUMBERG (J.), 1990. — Protecting natural regeneration in agricultural fields. CARE Agriculture and Natural Resources Technical Report Series No. 2. New York City, USA, CARE.

WEST (L.T.), WILDING (L.P.), LANDECK (J.K.), CALHOUN (F.G.), 1984. — Soil Survey of the ICRISAT Sahelian Center, Niger, West Africa. Texas A&M University/TropSoils, College Station, TX, USA.

Rick J. VAN DEN BELDT
WINROCK/USAID
PO Box 1038, Kasetsart PO
Bangkok 10903
(Thaïlande)

Credit photos R PELTIER.

RÉSUMÉ

Cet article propose de nouvelles hypothèses concernant le mécanisme d'amélioration de la production des cultures par *Faidherbia albida*, à partir d'études menées au Centre sahélien de l'ICRISAT de Niamey, Niger.

L'analyse des données montre que les différences de croissance de plants de *Faidherbia albida*, observées sur des distances relativement courtes, sont principalement dues aux variations de fertilité du sol. Les zones de meilleure croissance ont des caractéristiques chimiques et physiques du sol supérieures à celles des aires voisines où les arbres poussent mal ; ceci laisse supposer que la bonne fertilité sous *Faidherbia albida* pourrait en fait précéder l'installation de l'arbre.

L'interception de la lumière par le houppier des *Faidherbia albida* pendant la période de semis des cultures permet une diminution de température du sol de 10 °C, ce qui favorise leur démarrage. Les conditions pédologiques et microclimatiques sous *Faidherbia albida* étant comparables à celles que l'on retrouve plus au sud, on a pu parler de « milieu écologique transféré », ce qui explique en grande partie la meilleure croissance des cultures.

L'auteur fait ensuite des propositions pratiques pour la gestion des parcs : ceci concerne, d'une part, la plantation de jeunes *Faidherbia albida* sur des microstations fertiles, préidentifiées au cours de la culture vivrière précédente (au lieu d'une plantation classique à écartement régulier de 10 × 10 m) et, d'autre part, l'introduction sous le houppier des arbres de cultures de rente habituellement utilisées dans de meilleures conditions de sol et de climat (coton, maïs...).

Mots-clés : *Faidherbia albida.* Croissance. Relation plante-sol. Fertilité du sol. Niger. Ecologie forestière.

ABSTRACT

This article puts forward new hypotheses about the improvement mechanism for crop production by *Faidherbia albida*, based on studies carried out at the ICRISAT Sahelian centre in Niamey, Niger.

Data analysis shows that the differences in *Faidherbia albida* seedling growth, observed over relatively short distances, are mainly due to soil fertility variations. Zones with the best growth have chemical and physical soil characteristics that are superior to those of neighbouring areas where the trees grown poorly ; this suggests that good fertility under *Faidherbia albida* might in effect precede the establishment of the tree.

Light interception by the *Faidherbia albida* canopy during the crop-sowing period produces a 10 °C drop in ground temperature, which helps the seeds to germinate. Pedological and micro-climatic conditions under *Faidherbia albida* are comparable to those found further south, so it is possible to refer to an « ecological shift », which substantially explains the better growth rate of crops.

The author then makes certain proposals for parklands management. This involves, on the one hand, the planting of young *Faidherbia albida* in fertile micro-stations, pre-identified during the previous subsistence crop (instead of classic planting with regular 10 × 10 m spacing), and, on the other hand, the introduction, beneath the canopy, of cash-crops normally used in better soil and climate conditions (cotton, maize...).

Key words : *Faidherbia albida.* Growth. Plant soil relations. Soil fertility. Niger. Forest ecology.

SYSTÈME RACINAIRE DE *FAIDHERBIA ALBIDA* EN PLANTATION

Premières observations au Nord-Cameroun

par Oscar EYOG MATIG, pédologue et écophysiologiste, IRA

Les racines de ce faidherbia, planté depuis dix ans sur sol ferrugineux cuirassé, entrent en concurrence avec celles des cotonniers.

L'*Acacia albida* (Del.), encore appelé *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev., est l'espèce agroforestière des zones sèches d'Afrique la plus étudiée. La plupart des travaux antérieurs ont porté sur l'influence de cette espèce sur la production des cultures sous-jacentes. Certains résultats de ces études ont permis de montrer un effet améliorateur de 17 % de l'arbre sur les rendements en gousses d'arachide (GAUTREAU, 1966) et de 102 % sur mil sans apport de fumure. Plus récemment, LIBERT (1990) trouve une augmentation de la production cotonnière de 23 %.

La plupart des travaux ci-dessus énumérés ont mis en évidence un « effet *Faidherbia albida* ». Mais en dehors de l'approche de LIBERT (1992) et de celle de POULAIN et DANCETTE (1968), peu d'auteurs ont cherché la causalité de cet effet. Tout au plus quelques hypothèses ont-elles été émises (apport azoté par l'arbre, teneur en eau plus élevée sous faidherbia, influence de l'ombrage, augmentation du taux de matière organique sous houppier) sans être vérifiées.

Par ailleurs, il est généralement admis que les faidherbias n'exercent pas de concurrence racinaire sur les cultures en raison d'un enracinement pivotant. Dans ce domaine également, peu de travaux avaient été menés. C'est pourquoi, dans le cadre de la présente étude, avons-nous jugé nécessaire d'engager une recherche sur la répartition spatiale des racines de jeunes arbres de plantation de cette espèce.

Un certain nombre de travaux ont déjà été entrepris sur l'étude de l'enracinement de *Faidherbia albida*. CAZET (1989) trouve un faible développement latéral de jeunes plants de cette espèce par rapport à *Acacia senegal, Acacia tortilis ssp. raddiana et Acacia nilotica ssp. adstringens*. Des observations faites au Sénégal montrent un développement racinaire sur sol sableux pouvant atteindre 5 m de profondeur au bout d'un an.

Le projet Garoua II (financement Cameroun, FAC, CFD) a permis d'entreprendre un certain nombre d'observations en saison sèche 93-94, mais il n'a malheureusement pas été possible d'étudier un nombre suffisant d'arbres pour établir des corrélations robustes. Nous avons cependant estimé utile d'en publier les résultats qui peuvent servir de base à des recherches plus poussées.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Il s'agit d'étudier l'enracinement des arbres plantés sur trois sites différents : Mouda, Gazal et Ngong. A Mouda les arbres ont été plantés en 1984, à Gazal en 1985, tandis qu'à NGONG la plantation a été mise en place en 1989.

SITE ET CHOIX DES ARBRES

- **Choix de provenances aux performances contrastées**

Sur la parcelle de Gazal plantée en 1985, ont été mises en comparaison huit provenances de *Faidherbia albida* dont quatre du Cameroun et une provenance de chacun des pays suivants : Burkina Faso, Sénégal, Mali et Burundi. Notre étude a retenu les deux provenances extrêmes de la parcelle, c'est-à-dire la meilleure (provenance de Bogo, Cameroun, zone soudano-sahélienne) et la moins bonne (Ngong, Cameroun, zone soudano-guinéenne). La provenance de Bogo (Cameroun) a 231 cm de hauteur moyenne en 1990 avec un taux de survie de 83 %. La provenance de Ngong, quant à elle, mesure 143 cm de hauteur moyenne et a un taux de survie semblable à celle de Bogo. Nous avons éliminé dans notre choix la provenance du Burundi * qui, dès la seconde saison sèche, a présenté un taux de mortalité très élevé.

* Ndlr. Dans le cadre d'études ultérieures, il serait intéressant d'étudier l'enracinement de provenances ayant une croissance initiale élevée mais qui devient médiocre au bout de trois ou quatre années, comme c'est le cas pour cette provenance australe, de façon à déterminer si ce problème ne pourrait pas être lié à un enracinement superficiel, non adapté à la région soudano-sahélienne.

Sur la parcelle de Mouda, les arbres d'une provenance locale (Laf) de zone soudano-sahélienne ont été plantés en 1984 une année avant ceux de Gazal, mais sur un sol plus argileux et de tendance vertique. La distance entre Gazal et Mouda est de 2 km. Les deux sites se trouvent à l'intérieur de la ferme expérimentale de l'IRA, à Maroua, et jouissent d'un climat soudano-sahélien.

- **Trois types de sol représentatifs de la région**

L'étude se fera sur trois types de sols :

- les sols ferrugineux à cuirasse de Gazal,
- les sols argileux de tendance vertique de Mouda,

La plantation de Gazal à l'âge de cinq ans.

• les sols rouges ferrugineux de texture sableuse sur grès de Ngong.

La difficulté dans cette étude sera la comparaison entre l'enracinement des arbres qui poussent à Gazal et à Mouda et celui des arbres plus jeunes de Ngong.

Notre travail consistera ici non pas à comparer les biomasses racinaires mais plutôt à faire une analyse comparative des systèmes racinaires sur les trois types de sols. Nous nous occuperons essentiellement de l'occupation spatiale des racines. —

• Sélection de trois arbres moyens dans chaque site et pour chaque provenance

• A Gazal : Nous avons pris trois arbres de hauteur moyenne pour chacune des provenances de BOGO et de NGONG (respectivement 420 cm et 270 cm de hauteur en janvier 1994). Chacun des arbres choisis devait avoir quatre voisins vivants.

• A Mouda : trois arbres de hauteur moyenne (220 cm en janvier 1994) ont été sélectionnés pour ce travail. Le sol étant hétérogène nous avons pris les individus se développant sur sol argileux de tendance vertique. Le choix a porté sur les individus entourés de quatre voisins vivants.

• A Ngong : Les mensurations récentes de mars 1994 ont permis de regrouper les arbres en trois catégories :

— la classe dominante (270 cm),

— la classe moyenne (250 cm),

— la classe inférieure (135 cm).

Nous avons sélectionné un individu dans chacune de ces trois catégories.

MÉTHODES D'ÉTUDE DES RACINES

• Evaluation de la répartition et de la biomasse racinaire

Il s'agit de la combinaison de deux méthodes d'étude de l'enracinement (EYOG MATIG, 1993), celle du profil racinaire et celle d'excavation.

Nous avons réalisé une tranchée au collet de l'arbre. Cette tranchée a une longueur de 1 m de part et d'autre de celui-ci. Sa largeur est de 50 cm environ (pour permettre à un ouvrier de travailler dans de bonnes conditions). Sa profondeur est variable selon la profondeur maximale de l'enracinement.

Toutes les racines rencontrées au cours de la réalisation de cette tranchée sont coupées et récoltées, en laissant dépasser une courte section.

La paroi de la tranchée située au niveau du collet est lissée. Nous posons une grille de 200 cm de longueur et 150 cm de hauteur, ayant un maillage carré de 5 cm de côté.

Pour chaque racine, on note l'abscisse et l'ordonnée du carré dans lequel elle se trouve, ainsi que sa classe de diamètre. Ceci permet de reporter ces données sur un repère orthonormé et d'en faire une représentation désignée sous le nom de profil racinaire (EYOG MATIG, 1993).

Une fois le profil racinaire réalisé, nous coupons l'arbre au niveau du collet. La partie aérienne est mesurée indépendamment de la partie souterraine.

Pour le reste des racines, elles sont toutes suivies et prélevées de manière à quantifier toute la biomasse racinaire.

Les racines récoltées sont lavées de manière à les débarrasser de la terre. Elles sont séchées à l'étuve à 85 °C pendant 72 heures. On mesure alors leur poids sec.

• Mesure du poids et de la surface totale des feuilles

Un échantillon de feuilles est récolté. La surface foliaire de cet échantillon est mesurée à l'aide d'un planimètre Delta T, puis ces feuilles échantillons ainsi que le reste des feuilles de l'arbre (sans les mélanger) sont placées à l'étuve à 85 °C pendant 48 heures. Le poids sec de l'échantillon nous permet d'avoir la masse surfacique de l'arbre et d'en déduire la surface foliaire totale de l'arbre, lorsqu'on connaît le poids sec total des feuilles.

• Evaluation du poids sec des branches et de la tige

Les branches et la tige sont séchées à l'étuve à 85 °C pendant 72 heures, puis pesées.

MATÉRIEL UTILISÉ

• Provenance des *Faidherbia albida*

• Essai de Gazal : les semences utilisées ont été récoltées dans la région de Bogo (14°36′ E et 10°44′ N) et à Ngong (13°30′ E et 9°02′ N) ; les arbres ont été plantés dans un système agroforestier en mélange avec diverses cultures.

• Essai de Mouda : les semences ont été récoltées à Laf (14°14′ E et 10°17′ N). Les arbres ont été plantés

au sein d'un arboretum où se trouvent plusieurs (60) autres espèces locales. L'entretien se fait à l'aide des cultures intercalaires conduites par les paysans.

• Essai de Ngong : les semences proviennent également de la localité de Laf. Les arbres à Ngong se trouvent dans un dispositif d'étude de la jachère ligneuse améliorée. La parcelle a été cultivée pendant les deux premières années.

Les provenances Laf et Bogo sont soudano-sahéliennes, alors que la provenance Ngong est soudano-guinéenne.

• Appareils de mesure

• Balance Mettler 2 000 : portée 2 000 g, sensibilité 0,1 g. Cette balance a servi aux mesures du poids total des feuilles sèches, des tiges, des branches et des racines.

• Balance Mettler 160 : sa portée est de 160 g, elle est sensible au millième de gramme. Elle a été utilisée pour peser les feuilles pour le calcul des masses surfaciques.

• Etuve Memmert : sa température maximale est de 240 °C.

• Planimètre DELTA T Devices : sa portée est de 10 000 mm^2 et sa sensibilité est de 1 mm^2. Cet appareil a été utilisé pour les mesures des surfaces foliaires.

• Mètre ruban : il est gradué au millimètre près et permet de mesurer des longueurs jusqu'à 150 cm. Il a été utilisé pour les mesures des longueurs des tiges et des profondeurs des racines.

• Perche graduée : elle permet de mesurer au décimètre près les hauteurs inférieures à 8 m.

RÉSULTATS

• Les racines de la provenance de zone sèche sont plus nombreuses et plus profondes

Le tableau I montre que la provenance soudano-sahélienne de Bogo a un nombre plus élevé de racines que celle de Ngong. De même, la profondeur moyenne maximale de l'enracinement est plus élevée pour Bogo.

Les observations concernant la répartition spatiale des racines montrent des similitudes au niveau du système d'enracinement qui est pivotant. Cependant, on constate que la provenance Bogo, après avoir irradié ses racines dans toutes les directions dans les 50 premiers centimètres dépourvus de cuirasse, plonge littéralement son pivot vers les couches profondes (cf. fig. 1, p. 232). On observe peu de ramifications lors du passage du pivot dans l'horizon à cuirasse. La provenance Ngong, quant à elle, émet plutôt de nombreuses ramifications dans la cuirasse (cf. fig. 2, 232).

TABLEAU I
Comparaison du nombre de racines et de la profondeur maximale atteinte par les racines des provenances de Bogo et de Ngong à Gazal
Les résultats représentent les moyennes obtenues sur trois arbres de chaque provenance

Provenance	Nombre moyen de racines	Profondeur moyenne maximale de l'enracinement
Bogo (zone soudano-sahélienne)	191 $\sigma = 63$	116 $\sigma = 72$
Ngong (zone soudano-guinéenne)	144 $\sigma = 50$	81 $\sigma = 22$

σ = écart-type

• Le nombre et la répartition des racines varie beaucoup avec la station

Il ressort du tableau II, p. 232, que les sols ferrugineux sur grès de zone soudano-guinéennes (Ngong) sont les plus favorables à la prolifération racinaire et à l'exploration des horizons profonds par le système racinaire *. Ce résultat est d'autant plus significatif que les arbres de Ngong sont plus jeunes de quatre ans par rapport à ceux de Mouda et quatre par rapport à Gazal (cf. fig. 3, p. 233).

* Ndlr. Il faut tout de même noter que sur des sols aussi durs, on ne peut pas être certain d'avoir atteint l'extrémité du système racinaire et, en particulier, du pivot. On peut simplement constater que sur des sols profonds bien alimentés en eau de pluie (cas de Ngong), il y a un nombre élevé de racines dans l'horizon 0-2 m.

FIGURE 1

***Faidherbia albida* : profil racinaire de Gazal (Gazal 1), provenance Bogo**

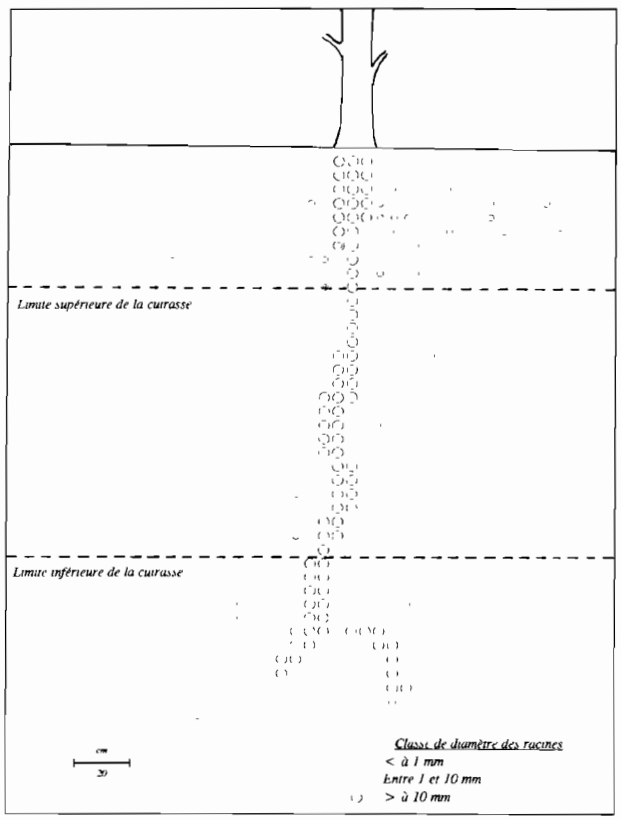


FIGURE 2

***Faidherbia albida* : profil racinaire de Gazal (Gazal 5), provenance Ngong**

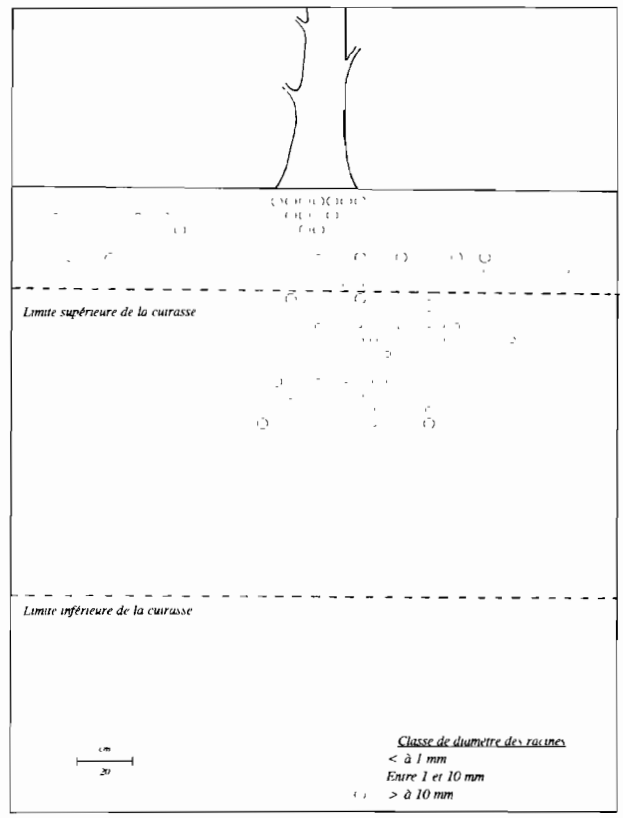


TABLEAU II
Influence du sol sur le nombre de racines et leur profondeur moyenne
Moyenne sur trois arbres par site

	Nombre moyen de racines	Profondeur moyenne maximale de l'enracinement
Sol vertique de Mouda	131 σ = 39	159 σ = 39
Sol ferrugineux cuirassé de Gazal	191 σ = 63	116 σ = 72
Sol ferrugineux sur grès de Ngong	317 σ = 151	222 σ = 38

σ = écart-type

Quant aux sols vertiques soudano-sahéliens, l'enracinement a plutôt tendance à explorer prioritairement les couches profondes qu'à émettre des ramifications superficielles (cf. fig. 4).

Pour les sols ferrugineux soudano-sahéliens sur cuirasse, l'émission des racines secondaires est plus importante que l'exploration des couches profondes.

- **Une bonne corrélation existe entre diamètre du tronc et surface foliaire totale**

Une régression faite à partir de 12 couples de mesures montre une relation linéaire entre le diamètre, pris soit au niveau du collet (∅ collet), soit à 1,30 cm (∅ DBH), et la surface foliaire totale (SFT).

FIGURE 3

***Faidherbia albida* : profil racinaire de Ngong (NG3), provenance Laf**

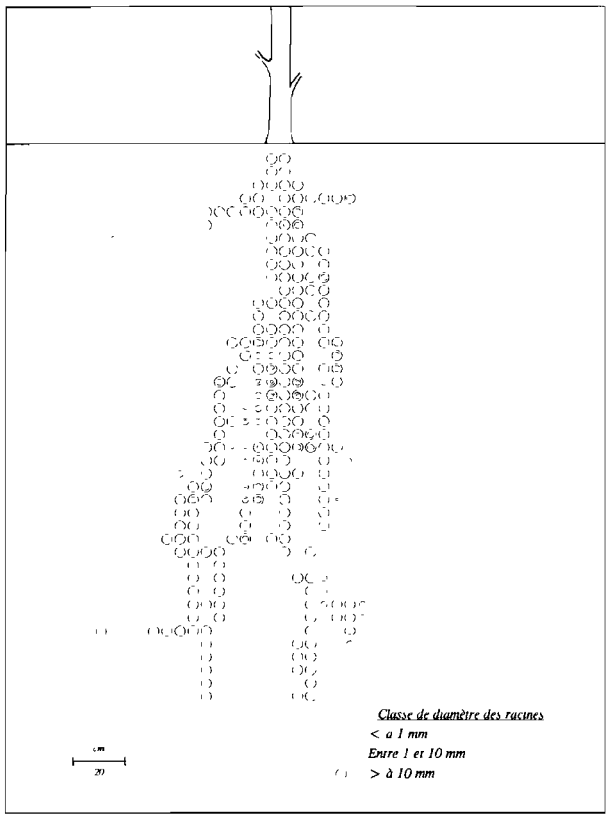
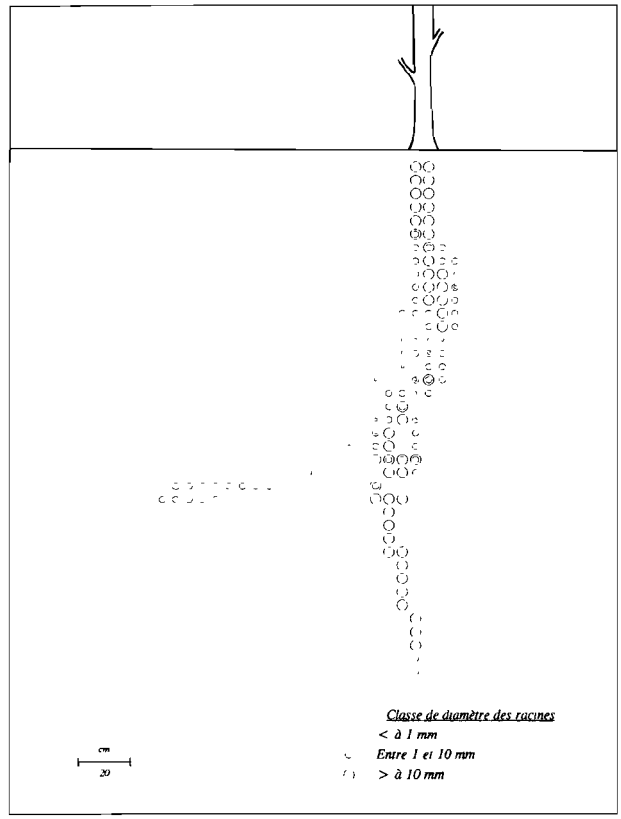


FIGURE 4

***Faidherbia albida* : profil racinaire de l'arboretum de Mouda (arb2), provenance Laf**



- SFT (m^2) = 0,16 ∅ collet (cm) – 2,39 avec r^2 = 0,81
- SFT (m^2) = 0,23 ∅ DBH (cm) – 1,72 avec r^2 = 0,73

- **La masse surfacique est un paramètre stable**

A la lecture du tableau III, la masse surfacique est un paramètre stable sauf celle de la provenance de Laf qui est plus élevée sur le site de Ngong (0,28). Les résultats obtenus par ailleurs varient très peu (0,22 kg/m^2 en moyenne, quels que soient le type de sol et la provenance de *Faidherbia albida* utilisée).

- **La relation entre le poids racinaire et le poids de la partie aérienne n'est pas évidente**

Le tableau IV, p. 234, montre que sur les sols ferrugineux cuirassés de Gazal (zone soudano-sahélienne) la biomasse aérienne de faidherbias âgés d'une dizaine d'années est en moyenne 23 fois plus élevée que celle des racines qu'il a été possible d'excaver, ce qui est considérable. Par ailleurs, on

TABLEAU III

Masse surfacique moyenne de différentes provenances de *Faidherbia albida* sur différents sites

Site	Provenance	Masse surfacique moyenne (kg/m^2)
Gazal	Ngong Bogo	0,21 0,22
Mouda	Laf	0,23
Ngong	Laf	0,28

σ = écart-type.

note que la provenance soudano-guinéenne (Ngong) a un rapport presque deux fois plus élevé entre la biomasse aérienne et racinaire que celle de la zone soudano-sahélienne (Bogo). A l'intérieur d'une même provenance, il existe d'énormes différences entre individus.

TABLEAU IV
Biomasse aérienne et racinaire des deux provenances de *Faidherbia albida* à Gazal

Provenance	Individu	PSPA (kg)	PSR (kg)	PSPA ÷ PSR	
Bogo	B_1	44,94	3,75	12	
	B_2	55,15	2,15	26	18
	B_3	45,98	2,98	15	
Ngong	NG_1	24,95	1,09	23	
	NG_2	116,23	2,17	54	32
	NG_3	22,96	1,22	19	
Moyenne		51,70	2,23	23	

PSPA : poids sec partie aérienne.
PSR : poids sec des racines.

DISCUSSION

Bien que le faible nombre d'arbres étudiés (12) ne permettent absolument pas d'avoir des résultats interprétables, nos premières observations nous autorisent à émettre des hypothèses qu'il serait bon de vérifier par la suite.

Enracinement superficiel de faidherbia dans un bas-fond inondable (zone sahélienne du Mali).

Il semble en particulier que sur sol ferrugineux cuirassé, de zone soudano-sahélienne, les faidherbias locaux développent un enracinement mixte (nombreuses racines de surface situées au-dessus de la cuirasse certainement pour capter l'eau de pluie), ainsi qu'un pivot qui semble plonger vers des réserves d'eau profondes ; au contraire, les faidherbias provenant de zone plus humide n'auraient pas la faculté d'installer un pivot profond et développeraient l'ensemble de leur système racinaire dans les couches superficielles, y compris la couche plus ou moins fracturée de gravillons latéritiques, qu'ils auraient la faculté d'explorer. Malgré cette répartition assez superficielle de l'enracinement, certains individus auraient la faculté de développer un appareil aérien important, du moins dans le jeune âge.

Les différences les plus importantes concernant le développement racinaire sont observées entre les différentes stations. Les profondeurs maximales de l'enracinement trouvées au Nord-Cameroun (1,5 m à 10 ans à Mouda) sont très modestes en comparaison avec les chiffres cités en Afrique de l'Ouest sur sols sableux profonds (3 m à 9 mois : VAN DEN BELDT,

1991), mais il est probable que l'on n'ait pas toujours pu atteindre le bout du pivot car ces sols sont très durs en profondeur. En zone soudano-sahélienne, on a observé un enracinement superficiel sur sol ferrugineux cuirassé et pivotant sur argiles vertiques. En zone soudano-guinéenne, celui-ci est bien réparti sur un profil de plus de 2 m d'épaisseur, sur des sols ferrugineux sableux sans cuirasse.

Il semble donc que la forme de l'enracinement des faidherbias soit une combinaison de caractères génétiques, pédologiques et climatiques.

CONCLUSION

On ne peut pas prétendre que *Faidherbia albida* est un arbre qui a un enracinement superficiel dans son très jeune âge, puis qui devient rapidement pivotant. En effet, on a constaté que des arbres âgés d'une dizaine d'années et d'une hauteur de plus de 4 m ont une partie importante de leur système racinaire dans les couches superficielles du sol. On ne peut donc pas exclure systématiquement qu'ils puissent exercer une concurrence racinaire sur les cultures.

Il reste donc à déterminer, par des études beaucoup plus sérieuses que ces modestes observations, si cette concurrence racinaire est différente suivant les types de sol, le climat et l'origine génétique. Ce dernier point est particulièrement important pour la recherche, car il faudrait absolument éviter d'introduire des provenances dont la croissance aérienne serait correcte, mais dont l'enracinement pourrait être superficiel.

Remerciements : *je tiens à remercier R. PELTIER qui a proposé cette étude, L. SEINY BOUKAR qui a obtenu son financement, C. BERNARD qui a réalisé les figures à l'aide d'un logiciel SIG et les ouvriers de l'IRA qui ont durement peiné pour creuser les fosses et excaver les racines.* ■

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CAZET (Y.), 1989. — Les plantations linéaires denses sur sol sableux dégradés de la zone Centre-Nord du Sénégal. Comportement et effets sur les cultures adjacentes de quelques espèces locales et introduites. Bois et Forêts des Tropiques n° 222, p. 27-37.

C.T.F.T., 1988. — *Faidherbia albida*. Monographie. CIRAD-Forêt, Nogent-sur-Marne, France, 72 p.

EYOG MATIG (O.), 1993. — L'enracinement de quatre espèces ligneuses sur sol hardé. *In :* Cah. Sc. n° 11 et Mém. et Trav. de l'IRA n° 6. Nogent-sur-Marne, France, CIRAD-Forêt, p. 111-118.

EYOG MATIG (O.), 1993. — Etude comparée du fonctionnement hydrique de quatre espèces ligneuses utilisées dans les programmes de reboisement au Nord-Cameroun. Thèse doctorat d'état Univ. de Yaoundé I, Cameroun, 201 p.

EYOG MATIG (O.), 1993. — Observations sur les ligneux à usages multiples : système racinaire. Communication faite aux techniciens agroforestiers de l'Afrique de l'Ouest à Niamey (Niger), nov. 1993. Cours organisé par l'ICRAF, Nairobi, Kenya.

GIFFARD (P.L.), 1964. — Les possibilités de reboisement en *Acacia albida* au Sénégal. Bois et Forêts des Tropiques n° 95, p. 21-33.

HARMAND (J.M.) et NJITI (C.F.), 1992. — *Faidherbia albida* in the northern Cameroon : Provenance Trials and crops associations, *Faidherbia albida* in the West Africa semi-arid tropics : Proceedings of a workshop, Niamey, Niger. Nairobi, Kenya, ICRAF, p. 79-81.

LIBERT (C.), 1990. — Influence des parcs arborés sur la production des cultures associées au Nord-Cameroun. Mém. de 3e année. Nogent-sur-Vernisson, France, I.T.F., 62 p.

LIBERT (C.), 1992. — Fonctionnement de l'écosystème « Parc arboré », Tokombéré, Nord-Cameroun. Mém. DEA, Univ. d'Aix-Marseille III, France, 32 p.

POULAIN (J.F.), 1984. — Influence de l'*Acacia albida* Del. sur les facteurs pédoclimatiques et les rendements des cultures. Le point de vue de l'agronome. Ouagadougou, Haute- Volta, IRAT.

VAN DEN BELDT (R.J.), 1991. — Rooting systems of western and southern African *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. (syn. *Acacia albida* Del.). A comparative analysis with biogeographic implications. Agroforestry systems 14. Nairobi, Kenya, ICRAF, p. 233-234.

O. EYOG MATIG
IRA
BP 223
Edéa, Cameroun

Crédit photos R PELTIER

RÉSUMÉ

Dans les plantations agroforestières de *Faidherbia albida* du Nord-Cameroun, l'auteur a réalisé une série d'observations sur le système racinaire et sur la partie aérienne, afin d'avoir « une première idée » sur la diversité des caractères et sur les corrélations qui pourraient être recherchées par la suite.

Il a sélectionné trois arbres sur quatre placeaux qui correspondent à des provenances (nord et sud soudaniennes), des types de sol (ferrugineux cuirassés, ferrugineux sur grès, vertisols), des climats (nord et sud-soudaniens) et des âges (de 4,5-8,5-9,5 ans) différents.

En dehors de la croissance hétérogène de la partie aérienne, bien connue par ailleurs, cette étude montre des grandes variations dans la biomasse et la répartition du système racinaire. Il apparaît en particulier que la plupart des individus observés ont une importante partie de leur racines dans les horizons superficiels : ils seraient donc susceptibles de concurrencer les cultures pour l'eau et les éléments minéraux. Le faible nombre d'arbres étudiés et le grand nombre de variables ne permettent pas de déterminer si la forme du système racinaire est plutôt dépendante du climat, du type de sol, de l'âge, de l'origine génétique ou de la combinaison de ces facteurs. L'auteur souligne toutefois l'importance d'études ultérieures, afin de ne favoriser la plantation de faidherbias que lorsque le binôme (matériel végétal- milieu écologique) est bien choisi pour que l'enracinement des arbres ne concurrence pas celui des cultures ; l'architecture des racines pourrait être aussi importante que la seule croissance de la partie aérienne, habituellement plus étudiée par les améliorateurs.

Mots-clés : *Faidherbia albida*. Cameroun. Système racinaire. Enracinement. Relation plante-sol.

ABSTRACT

In the agroforestry *Faidherbia albida* plantations of North-Cameroon, the author made a series of observations concerning the root system and aerial part of the trees, in order to form « a first inkling » both about the diversity of their features, and about the correlations which might subsequently be looked into.

To this end, he selected three trees in four sample plots, corresponding to different seed provenances (north and south Sudanian), soil types (ferruginous with iron-crust (petroplinthitic horizon), ferruginous on sandstone, vertisols), climate (north and south Sudanian) and age (4 1/2, 8 1/2 and 9 1/2 years).

Over and above the heterogeneousness of the growth of the tree's aerial part, with which we are, incidentally, quite familiar, this study shows up major variations in the biomass and distribution of the root system. It would appear, in particular, that most of the trees observed have a considerable part of their roots growing horizontally close to the surface. They are thus likely to be in competition with crops for water and mineral elements. The small number of trees examined and the large range of variables do not make it possible to determine whether the form of the root system tends to be dependent on climate, soil type, age, genetic origin, or a combination of these factors. The author nevertheless emphasizes the importance of further studies, so as to encourage the planting of faidherbias only when the couple (tree provenance-ecological environment) is well selected, so that the root system of the trees does not compete with the crop root system. Root architecture might be every bit as important as just the growth of the aerial part, which normally tends to be more closely examined by breeders.

Key words : *Faidherbia albida.* Cameroon. Root systems. Rooting. Plant soil relations.

EFFET DU PHOSPHATE NATUREL SUR DE JEUNES *ACACIA ALBIDA* EN PRÉSENCE OU NON DE MYCORHIZES

par Amadou BÂ, microbiologiste, IRBET
Marcel BAZIÉ, microbiologiste, IRBET
et Tiby GUISSOU, microbiologiste, IRBET

Jeunes agriculteurs dans une parcelle où *Acacia albida* est associé à du coton.

En zone semi-aride, la faible disponibilité du phosphore dans la solution du sol limite considérablement la nutrition phosphatée chez de nombreuses légumineuses (MOSSE, 1981). L'élément phosphore participe à la formation des nodules et fournit l'énergie nécessaire à la fixation biologique de l'azote (WAIDYANATHA *et al.*, 1979 ; ISLAM *et al.*, 1980). Pour s'approvisionner en cet élément peu mobile dans le sol, les plantes mycorhizées grâce à un réseau extramatriciel d'hyphes explorent un volume de sol supérieur à celui réalisé par le même végétal non mycorhizé (PLENCHETTE, 1991). Ceci se traduit par une stimulation de la biomasse (DIANDA, 1991 ; DUCOUSSO, COLONNA, 1992 ; OSONUDI *et al.*, 1992) et une meilleure alimentation phosphatée et azotée des acacias cultivés dans des sols pauvres en éléments minéraux (DIEM, CORNET, 1982 ; COLONNA *et al.*, 1991 ; OSONUDI *et al.*, 1992). De même les mycorhizes augmentent les prélèvements de phosphate lorsque l'on a recours à des engrais solubles ou peu solubles (phosphates naturels) pour corriger la carence en phosphore assimilable (DIEM, CORNET, 1982 ; MANJUNATH *et al.*, 1989 ; ANTUNES, CARDOSO, 1991 ; COLONNA *et al.*, 1991 ; HABTE, MANJUNATH, 1991).

Tous comptes faits, les engrais phosphatés solubles sont peu accessibles dans les pays en développement en raison de leur coût élevé (NYE, KIRK, 1987). Dans le contexte du Burkina Faso on peut envisager l'utilisation du phosphate naturel tricalcique comme alternative aux engrais phosphatés solubles ou comme complément, car les réserves disponibles sont estimées à plus de 10^8 tonnes (TRUONG *et al.*, 1977). Cependant divers travaux montrent que cette forme de phosphate est peu accessible aux plantes sans mycorhizes (GRAHAM, TIMMER, 1985 ; BOLAN, 1991). Nous nous proposons de vérifier cette hypothèse chez la légumineuse *Acacia albida* inoculée ou non avec un champignon endomycorhizien *Glomus aggregatum* et cultivée sur un sol amendé avec du phosphate naturel tricalcique de Kodjari.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Cette expérience a été réalisée avec un sol à pH proche de la neutralité et pauvre en phosphore assimilable (tableau I). Le sol a été désinfecté à l'autoclave (1 h à 120 °C) pour éliminer la microflore native.

Le phosphate naturel tricalcique est originaire du gisement de Kodjari dans la province de la Tapoa (Burkina Faso). Il est utilisé sous sa forme pulvérulente ou Burkina Phosphate (BP à 12 % de P ; 90 % de broyat de diamètre inférieur à 90 µm). Le BP actuellement commercialisé présente une solubilité de 0,03 % dans de l'eau (tableau II). Il a été mélangé au sol à deux doses différentes : 2,5 et 5,0 g de P/kg de sol ; dans le témoin il n'y a pas d'apport de P. Le mélange a été distribué dans des sachets en polyéthylène de 1,2 litre.

L'inoculation a consisté à enfouir dans les dix premiers centimètres du sol 0,9 g en poids frais de racines de sorgho colonisées avec *Glomus aggregatum* Schenck & Smith emend. Koske. Ce champignon a été isolé dans un sol prélevé sous *Acacia mangium* (GUISSOU, 1994).

Des graines d'*Acacia albida* Del. (provenance Kokologo 03, lot 1020 fourni par le Centre National des Semences Forestières du Burkina Faso) ont été traitées pendant 30 mm avec de l'acide sulfurique à 95 %, rincées à l'eau distillée stérile, trempées une nuit dans l'eau de rinçage et mises à germer sur du coton hydrophile stérile pendant trois jours à 30 °C. Les graines prégermées sont repiquées à raison de deux graines par sachet. Au bout d'une semaine une seule plantule est conservée.

Les traitements étudiés pour chaque dose de BP comprennent des témoins non inoculés et des acacias inoculés avec *Glomus aggregatum*. Tous les traitements non inoculés ont reçu 0,9 g en poids frais de racines de sorgho autoclavées et 2 ml d'eau de lavage de l'inoculum filtrée sur du papier « Whatman n° 1 ».

Le dispositif expérimental de cet essai est de type factoriel $(3^1 \times 2^1) \times 11$ répétitions en randomisation totale. L'essai a été conduit pendant dix semaines (d'août à novembre 1994) dans un abri à température et à la lumière du jour. Des variables de croissance (hauteur de la tige, poids sec des tiges et racines, rapport racine/tige et biomasse totale) ont été mesurées. L'azote total a été déterminé par la méthode de Kjeldahl et le phosphore total par colorimétrie au bleu de molybdène (MURPHY, RILEY, 1962). Le taux de mycorhization a été évalué par la méthode de Giovannetti et Mosse (1980). Nous avons également calculé pour chaque dose de phosphate naturel la variation de croissance due à la mycorhization [(poids sec des plants inoculés - poids sec des plants non inoculés/poids sec des plants non inoculés) × 100] et la dépendance mycorhizienne [(poids sec des plants inoculés - poids sec des plants non inoculés/poids sec des plants inoculés) × 100] des plants d'*Acacia albida* (PLENCHETTE *et al.*, 1983 ; HETRICK, WILSON, 1992). Les données ont été traitées avec le logiciel stat-I.T.C.F. (I.T.C.F., 1991).

TABLEAU I
Quelques caractéristiques physico-chimiques du sol de Dindéresso

Argiles < 2 µm (%)	Limons totaux (%)	Sables totaux (%)	Carbone total (%)	Matière organique (%)	N total (%)	C/N	P total (ppm)	P assimilable (ppm) Bray-1	pH H_2O	pH Kcl
6,75	6,58	86,67	0,36	0,62	0,05	7	98	2,3	7,34	6,15

TABLEAU II
Composition physico-chimique du phosphate naturel de Kodjari
(Office Fédéral de Géosciences et des Ressources Minérales, Hannovre, Allemagne)

SiO_2 (%)	TiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	P_2O_5 (%)	SO_3 (%)
23,47	0,20	4,23	2,98	0,05	0,18	34,39	0,19	0,53	27,59	0,06
F (%)	**CO_2** (%)	**Cd** (ppm)	**Hg** (ppb)	**As** (ppm)	**Cu** (ppm)	**Mo** (ppm)	**Zn** (ppm)	**Co** (ppm)	**Apatite** (%)	**Quartz** (%)
2,64	1,94	2,80	51	8,4	10	4	12	11	62	20

RÉSULTATS

L'analyse statistique montre une interaction non significative entre les deux facteurs fertilisation et inoculation quand on considère le poids sec des racines, le taux de colonisation, la concentration et la teneur totale en azote de la tige d'*Acacia albida*. Etant donné que les interactions ne sont pas significatives, nous discuterons uniquement des effets principaux des deux facteurs en ce qui concerne ces variables (tableau III). Cependant une interaction significative a été observée entre ces deux facteurs pour toutes les autres variables. Dans ce cas nous discuterons uniquement de la composante de l'interaction (tableau IV).

Le tableau III présente les variables pour lesquelles nous avons observé des effets propres aux deux fac-

TABLEAU III
Taux de colonisation, poids sec des racines, concentration et teneur totale en azote des tiges d'*Acacia albida* des six combinaisons « fertilisation × inoculation » cultivées sur un sol de Dindéresso

	Taux de colonisation ** (%)	Racine (g)	Azote (%)	Azote total * (mg/plant)
Effet principal « fertilisation »				
P 0	33,87 a	0,58 a	2,17 a	8,10 b
P 2,5	25,16 a	0,50 a	2,21 a	8,38 b
P 5	21,19 a	0,57 a	2,26 a	9,59 a
Effet principal « inoculation »				
avec *Glomus*	46,73 a	0,53 a	2,02 b	10,42 a
sans *Glomus*	6,75 b	0,59 a	2,41 a	6,96 b

Chaque valeur représente la moyenne de 22 répétitions.
Les valeurs * et ** ont été transformées respectivement avec les fonctions Log et $\sqrt{\ }$.
Les valeurs ayant une même lettre en commun ne sont pas différentes significativement selon le test de Newman-Keuls au seuil de 5 %
P 5 = 5 g de P/kg de sol ; P 2,5 = 2,5 g de P/kg de sol ; P 0 = sans apport de BP

TABLEAU IV
Effets de différentes doses de BP sur la croissance et la nutrition phosphatée d'*Acacia albida* en présence ou non de mycorhizes

Traitement	Hauteur (cm)	Tige (g)	Racine/ Tige	Concentration en phosphore de la tige *	Phosphore total de la tige * (mg/plant)	Biomasse totale (g)	Variation de croissance (%)	Dépendance mycorhizienne (%)
P 0	22,64 c	0,24 c	2,33 a	0,13 e	0,31 e	0,75 d	—	—
P 0 + G	39,26 a	0,55 a	1,04 c	0,27 b	1,50 b	1,20 a	60 (129)	37 (56)
P 2,5	24,71 c	0,29 bc	1,79 b	0,17 d	0,49 d	0,79 cd	—	—
P 2,5 + G	43,43 a	0,53 a	1,01 c	0,43 a	2,29 a	1,04 ab	32 (83)	24 (45)
P 5	28,34 b	0,35 b	1,71 b	0,21 c	0,72 c	0,94 bc	—	—
P 5 + G	39,55 a	0,51 a	1,17 c	0,38 a	1,97 ab	1,06 ab	13 (46)	11 (31)
CV %	12,6	22,8	31,8	17,9	35,3	20,0	—	—

Chaque valeur représente la moyenne de 11 répétitions
Les valeurs * ont été transformées avec la fonction Log
Les valeurs entre parenthèses ont été déterminées sur la base du poids sec des tiges.
Les valeurs ayant une même lettre en commun ne sont pas différentes significativement selon le test de Newman-Keuls au seuil de 5 %.
G = *Glomus* ; P 5 = 5 g de P/kg de sol ; P 2,5 = 2,5 g de P/kg de sol ; P 0 = sans apport de P.

teurs. Les résultats permettent de faire ressortir les points suivants :

• Des contaminations ont été relativement peu fréquentes sur les racines d'*Acacia albida* non inoculés. En effet, le taux de mycorhization passe de 6,75 sur les plants non inoculés à 46,73 sur les plants inoculés avec *Glomus aggregatum*, soit en moyenne une multiplication par un facteur de 6,9.

• L'application du BP ou l'inoculation avec *Glomus aggregatum* n'ont pas d'influence sur le développement du système racinaire d'*Acacia albida*.

• La réponse d'*Acacia albida* à l'infection mycorhizienne avec *Glomus aggregatum* n'est pas significativement affectée aux doses P 2,5 et P 5.

• La concentration en azote (exprimée en %) des plants d'*Acacia albida* inoculés est nettement inférieure à celle des plants non inoculés. Cet effet est inversé lorsque l'on considère la teneur totale en azote (exprimée en mg/plant). Il s'agit là probablement d'un effet de dilution.

Les effets interactifs entre la fertilisation et l'inoculation sont regroupés dans le tableau IV qui fait ressortir les observations suivantes :

• Chez les acacias non inoculés, la croissance en hauteur et le poids sec des parties aériennes sont significativement augmentées à la dose de P 5.

• La croissance en hauteur et le poids sec des parties aériennes sont stimulés chez les acacias inoculés comparés aux acacias non inoculés.

• Le rapport racine/tige est voisin de 1 chez les acacias inoculés. Il est significativement supérieur à 1 chez les acacias non inoculés.

Un parc à *Acacia albida* en saison sèche après la récolte du sorgho.

• Chez les acacias inoculés, la concentration et la teneur totale en phosphore dans les tissus caulinaires sont significativement plus élevées en présence de BP. De même chez les acacias non inoculés, ces deux variables sont stimulées en présence de BP. Cependant aux doses P 0, P 2,5 et P 5 de BP, la mycorhization augmente la teneur en phosphore total de la tige d'un facteur multiplicateur respectivement de 4,8 , 4,6 et 2,7 par rapport aux acacias non inoculés.

DISCUSSION

• Les mycorhizes permettent aux acacias de mieux utiliser le phosphore du sol et le phosphate naturel

Nos résultats indiquent que des acacias inoculés (P 0 + G) utilisent mieux le phosphore assimilable du sol que des témoins non inoculés (P 0), ce qui se traduit par une stimulation de la croissance de 60 % grâce à la mycorhization (tableau IV). La concentration et la teneur totales en phosphore de la tige des acacias inoculés (P 0 + G) sont augmentées d'un facteur multiplicateur respectivement de 2,07 et de 4,8 par rapport aux témoins non inoculés (P 0). La mycorhization d'*Acacia albida* favorise non seulement la nutrition phosphatée mais aussi permet une meilleure alimentation en azote (tableau III). L'effet fertilisation est significatif sur la teneur totale en azote de la tige chez les plants inoculés (tableau III). Ces résultats sont comparables à ceux obtenus sur *Acacia albida* par OSONUBI *et al.* (1992). De plus, d'un point de vue pratique, la stimulation de la croissance en hauteur des plants mycorhizés pourrait éventuellement raccourcir la durée de maintien des acacias en pépinière.

Jeune plantation d'*Acacia albida*.

Il ressort également de notre étude que, quelle que soit la dose apportée, le phosphate a un effet positif plus marqué sur la nutrition phosphatée des plants d'*Acacia albida* non inoculés. Ce résultat suggère que les plants d'*Acacia albida* non inoculés sont capables d'utiliser directement le BP. Cependant, l'utilisation de ce BP est plus efficace chez les acacias inoculés (tableau IV). Avec le BP, la nutrition phosphatée des acacias inoculés est meilleure que celle des acacias cultivés en l'absence de *Glomus aggregatum*. De plus, la capacité des acacias inoculés à utiliser efficacement le BP semble avoir atteint un maximum à la dose P 2,5. Chez les acacias non inoculés, lorsqu'on augmente la dose de P 0 à P 2,5, la concentration et la teneur totale en phosphore de la tige sont améliorées respectivement de 23,5 % et 36,7 %. Ces deux variables augmentent à peu près dans les mêmes proportions chez les acacias inoculés lorsqu'on compare les traitements P 0 + G et P 2,5 + G. Nos résultats sont comparables à ceux obtenus par de nombreux travaux sur les phosphates naturels (IKRAM *et al.*, 1987 ; ANTUNES, CARDOSO, 1991 ; OSUNDE *et al.*, 1992 ; ISHAC *et al.*, 1994).

- **Des résultats comparables ont été trouvés sur leucaena**

MANJUNATH *et al.* (1989) ont utilisé un phosphate naturel (16 % de P) à des doses comparables chez *Leuceana leucocephala* associée à *Glomus aggregatum*. Ils ont observé une meilleure alimentation en phosphore et une stimulation de la croissance de cette espèce consécutives à une augmentation du taux de mycorhization observée aux plus fortes doses de phosphate naturel. Ces auteurs suggèrent que la teneur en P dans la solution du sol et/ou dans les racines de *Leucaena leucocephala* est trop faible pour inhiber la mycorhization.

La variation de croissance des plants d'*Acacia albida* est de 13 % à 60 % selon la dose de BP (tableau IV). Comme le poids sec des racines est constant, la croissance rapportée au poids sec des tiges varie de 46 % à 129 % (tableau IV). Quoi qu'il en soit, elle semble d'autant moins importante que l'apport en phosphate naturel est plus élevé dans le sol. Nos résultats s'accordent également avec des travaux qui indiquent qu'*Acacia albida* est, selon la classification proposée par HABTE et MANJUNATH (1991), une espèce moyennement à hautement dépendante des mycorhizes suivant les conditions expérimentales (DIANDA, 1991 ; DUCOUSSO, COLONNA, 1992 ; OSONUDI *et al.*, 1992). De plus, les plants d'*Acacia albida* semblent moins dépendants des mycorhizes du fait de l'augmentation de la dose en BP.

CONCLUSION

Il apparaît clairement que les plants d'*Acacia albida* associés à *Glomus aggregatum* s'alimentent plus efficacement en phosphore à partir du phosphate naturel que les acacias non inoculés. On peut envisager l'utilisation du phosphate en pépinière pour corriger la carence en P de la plupart des sols du Burkina Faso et en particulier pour améliorer le faible potentiel fixateur d'azote d'une espèce comme *Acacia albida* (SANGINGA *et al.*, 1990).

Dans les pépinières, le substrat de culture couramment utilisé est constitué d'un mélange non désinfecté de sable, de sol humifère et de compost. Ce substrat de culture ne tient pas compte des besoins en nutriments d'*Acacia albida* et peut renfermer des pathogènes ou des antagonistes de micro-organismes symbiotiques. Des essais préalables sont indispensables pour déterminer le substrat approprié et pour connaître les meilleures formules de fertilisation minérale (N, P, oligo-éléments), leurs coûts et éventuellement le meilleur compromis pour ne pas inhiber l'établissement des symbioses. Cependant, les phosphates naturels, engrais à action progressive sur plusieurs années, sont aussi efficaces et moins coûteux que les

superphosphates. A des doses appropriées, ils n'ont pas d'effets négatifs sur l'établissement des symbioses. La stérilisation des sols de pépinière, qui élimine en partie ou totalement la microflore native, nécessite la réintroduction par inoculation des micro-organismes symbiotiques. La mise en évidence d'une interaction significative entre des provenances d'*Acacia albida* et des souches de *Bradyrhizobium* suggèrent que les deux partenaires pourraient être sélectionnés simultanément pour améliorer la fixation d'azote. Nous ne disposons pas de données sur le comportement de micro-organismes sélectionnés dans des substrats de culture non stérilisés. Malgré tout, l'inoculation n'est bénéfique que si les souches utilisées sont plus compétitives que les souches préexistantes dans le sol. ■

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANTUNES (V.), CARDOSO (E.J.B.N.), 1991. — Growth and nutrient status of citrus plants as influenced by mycorrhiza and phosphorus application. Plant and Soil 131 : 11-19.

ASMAH (A. E.), 1995). — Effect of phosphorus source and rate of application on VAM fungal infection and growth of maize (*Zea mays* L.). Mycorrhiza 5 : 223-228.

BILLAND (A.), DIALLO (O.B.), 1991. — Amélioration des ligneux soudano-sahéliens : stratégies et perspectives. Rapport d'activités 90-91. IRBET, Ouagadougou, Burkina Faso. 198 p.

BOLAN (N.S.), 1991. — A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phophorus by plants. Plant and Soil 134 : 189-207.

BONKOUNGOU (E.G.), OUEDRAOGO (S.), DIANDA (M.), BILLAND (A.)., 1988. — *Acacia albida* Del. en agroforesterie : stratégie d'amélioration du matériel végétal. Science et Technique 18 (2) : 41-72.

DIANDA (M.), 1991. — Comparaison des effets de champignons VA introduits et indigènes associés ou non à *Bradyrhizobium* sur la fixation d'azote et la croissance d'*Acacia albida*. *In :* Physiologie des Arbres et Arbustes en zones arides et semi-arides. Groupe d'Etude de l'Arbre, Paris, France, p. 263-269.

DIANDA (M.), BA (A.M.), DUPUY (N.), DREYFUS (B.), 1993. — Comparaison de la fixation d'azote chez plusieurs provenances d'*Acacia albida*. Bois et Forêts des Tropiques 238 : 30-31.

DUCOUSSO (M.), COLONNA (J.P.), 1992. — Endomycorrhiza infection in young *Faidherbia albida* : influence on growth and development. *In : Faidherbia albida* in the West African semi-arid tropics, Proceedings of a workshop (Ed. VAN DEN BELDT R.J.), ICRISAT, 22-26 April, Niamey, Niger, p. 151-156.

GIOVANNETTI (M.), MOSSE (B.), 1980. — An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots New Phytol. 84 : 489-500.

GRAHAM (J.H.), TIMMER (L.W.), 1985. — Rock phosphate as a source of phosphorus for vesicular-arbuscular mycorrhizal development and growth of citrus in a soilless medium. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 110, 4 : 489-492.

GRAHAM (J.H.), EISSENSTAT (D.M.), DROUILLARD (D.L.), 1991. — On the relationship between a plant's mycorrhizal dependency and rate of vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization. Funct. Ecol. 5 : 773-779.

GUISSOU (T.), 1994. — Amélioration de la fixation d'azote chez deux acacias australiens : *Acacia holosericea* et *Acacia mangium*. Mise en evidence d'une diversité de Glomales dans des sols du Burkina Faso. Mémoire de fin d'études d'ingénieur des eaux et forêts. IDR Université de Ouagadougou, 49 p.

HABTE (M.), MANJUNATH (A.), 1991. — Categories of vesicular-arbuscular mycorrhizal dependency of host species. Mycorrhiza 1 : 3-12.

HETRICK (B.A.D.), WILSON (G.W.T.), 1992. — Mycorrhizal dependency of modern wheat varieties, landraces and ancestors. Can. J. Bot. 70 : 2032-2040.

IKRAM (A.), MAHMUD (A.W.), NAPI (D.), 1987. — Effects of P-fertilization and inoculation by two vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nodulation of *Calopogonium caeruleum*. Plant and Soil 104, 195-207.

ISHAC (Y.Z.), ANGLE (J.S.), EL-BOROLLOSY (M.E.), EL-DEMERDASH (M.E.), MOSTAFA (M.I.), FARES (C.N.), 1994. — Growth of *Vicia faba* as affected by inoculation with vesicular-arbuscular mycorrhizae and *Rhizobium leguminosarum* bv. *viceae* in two soils. Biol. Fertil. Soils 17 : 27-31.

ISLAM (R.), AYANABA (A.), SANDERS (F.E.), 1980. — Response of cowpea (*Vigna unguiculata*) to inoculation with VA-mycorrhizal fungi and to rock phosphate fertilization in some unsterilized Nigerian soils. Plant and Soil 54 : 107-117.

I.T.C.F., 1991. — Stat-ITCF-Manuel d'utilisation. Edition ITCF. .

MANJUNATH (A.), HUE (N.V.), HABTE (M.), 1989. — Response of *Leuceana leucocephala* to vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization and rock phosphate fertilization in an Oxisol. Plant and Soil 114 : 127-133.

MOSSE (B.), 1981. — Vesicular-arbuscular mycorrhiza research for tropical agriculture. University of Hawaii, Research Bulletin 194 : 1-82.

MURPHY (J.), RILEY (J.P.), 1962. — A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal.Chim.Acta 27 : 31-35.

NYE (P.H.), KIRK (G.J.D.), 1987. — The mechanism of rock phosphate solubilization in the rhizosphere. Plant and Soil 100 : 127-134.

OSONUDI (O.), BAKARE (O.N.), MULONGOY (K.), 1992. — Interaction between drought stress and vesicular-arbuscular mycorrhiza on the growth of *Faidherbia albida* (syn. *Acacia albida*) and *Acacia nilotica* in sterile and non-sterile soils. Biol.Fertil.Soils 14 : 59-165.

OSUNDE (A.O.), ZAPATA (F.), SANGINGA (N.), 1992. — Agronomic evaluation of a rock phosphate as a source for *Leuceana leucocephala* grown on an ultisol. In : Biological Nitrogen Fixation and Sustainability of Tropical Agriculture (Eds. Mulongoy, K., Gueye, M. and Spencer, D.S.C.), Proceedings of the Fourth International Conference of the AABNF held at IITA, Ibadan, Nigeria, 133-139.

PLENCHETTE (C.), FORTIN (J.A.), FURLAN (V.), 1983. — Growth responses to several plant species to mycorrhizae in a soil of moderate P-fertility. I. Mycorrhizal dependency under field conditions. Plant and Soil 70 : 199-209.

PLENCHETTE (C.), 1991. — Utilisation des mycorhizes en agriculture et horticulture. *In :* Les Mycorhizes des Arbres et Plantes Cultivés. Ed. Technique et Documentation-Lavoisier, p. 132-177.

SANGINGA (N.), DANSO (S.K.A.), ZAPATA (F.), BOWEN (G.D.), 1990. — Influence of reference trees on N_2-fixation estimates in *Leuceana leucocephala* and *Acacia albida* using ^{15}N-labelling techniques. Biol.Fertil.Soils 9 : 341-346.

TRUONG (B.), PICHOT (J.), BEUNARD (P.), 1977. — Caractérisation et comparaison des phosphates naturels tricalciques d'Afrique de l'Ouest en vue de leur utilisation directe en agriculture. Agronomie Tropicale 33, 2 : 136-145.

WAIDYANATHA (U.P.) de S., YOGARATNAM (N.), ARIYARATNE (W.A.), 1979. — Mycorrhizal infection on growth and nitrogen fixation of *Pueraria* and *Stylosanthes* and uptake of phosphorus from two rock phosphates. New Phytol. 82 : 147-152.

A. BÂ, M. BAZIE, T. GUISSOU
Laboratoire de Microbiologie Forestière
Institut de Recherche en Biologie
et Ecologie Tropicale
BP 7047
Ouagadougou 03 (Burkina Faso)

Crédit photos C TRIBOULET, R PELTIER

RÉSUMÉ

L'influence des mycorhizes à vésicules et à arbuscules sur l'assimilation du phosphate naturel tricalcique de Kodjari (Burkina Faso) a été étudiée chez *Acacia albida* Del., arbre à usages multiples des systèmes agroforestiers traditionnels de la zone soudano-sahélienne. Des acacias sont inoculés ou non avec un champignon endomycorhizien *Glomus aggregatum* Schenck & Smith emend. Koske et cultivés sur un sol contenant 2,3 ppm de P assimilable auquel on apporte trois doses de phosphate naturel tricalcique de Kodjari ou Burkina Phosphate (BP à 12 % de P) : 0,0, 2,5 et 5,0 g de P/kg de sol. Les acacias non inoculés sont capables d'utiliser directement le BP. Cependant, l'utilisation du BP est plus efficace chez les acacias inoculés. La hauteur, le poids sec, la quantité de phosphore (% et mg/plant) et d'azote (mg/plant) de la tige sont significativement augmentés chez les acacias inoculés. Par contre, l'inoculation n'a pas d'influence sur le poids sec des racines et le rapport racine/tige est significativement supérieur chez les plants non inoculés comparativement aux plants inoculés. Le BP n'a pas d'effets sur le taux de mycorhization des acacias inoculés qui présentent une croissance tout à fait comparable. Cependant, le BP augmente la concentration et la teneur totale en phosphore de la tige des acacias inoculés en particulier lorsqu'il est apporté à la dose de 2,5 g de P/kg de sol. Ces résultats suggèrent que les plants d'*Acacia albida*, associés au champignon *Glomus aggregatum*, s'alimentent mieux en phosphore libéré du BP que les acacias non inoculés.

Mots-clés : Mycorhize. Fixation de l'azote. Inoculation. Croissance. Phosphore. Phosphate. *Faidherbia albida.* Transport des substances nutritives. Burkina Faso.

ABSTRACT

The influence of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on the assimilation of natural tricalcic rock phosphate from Kodjari (Burkina Faso) has been examined in *Acacia albida* Del., a multi-purpose tree in traditional agroforestry systems in the Sudano-Sahelian zone. Acacias are inoculated or otherwise with an endomycorrhizal fungus, *Glomus aggregatum* Schenck & Smith emend. Koske, and grown in soil containing 2.3 ppm of assimilable P, to which are added three doses of natural tricalcic Kodjari phosphate, or Burkina Phosphate (BP at 12 % of P) : 0.0, 2.5 and 5.0 g of P/kg of soil. The non-inoculated acacias can make direct use of the BP. However, the use of BP is more effective in inoculated acacias. The height, dry weight, and amount of phosphorus (% and mg/sapling) and nitrogen (mg/sapling) in the stem are significantly increased in inoculated acacias. On the other hand, inoculation has no effect on the dry weight of the roots and the root/stem ratio is considerably higher in non-inoculated saplings, as compared with inoculated specimens. The BP has no effect on the mycorrhization rate of inoculated acacias, which show an altogether comparable growth rate. The BP nevertheless does increase the concentration and overall content of phosphorus in the stems of inoculated acacias, particularly when it is added at the dose of 2.5 g of P/kg of soil. These findings suggest that *A. albida* saplings, associated with the fungus *G. aggregatum*, are better nourished by the phosphorus released from the BP than non-inoculated acacias.

Key words : Mycorrhiza. Nitrogen fixation. Inoculation. Growth. Phosphorus. Phosphates. *Faidherbia albida.* Nutrient transport. Burkina Faso

SYMBIOSE *FAIDHERBIA ALBIDA*-RHIZOBIUM

Etude en laboratoire des caractéristiques symbiotiques et écophysiologiques

par Didier LESUEUR, microbiologiste, CIRAD-Forêt
Clément Forkong NJITI, agroforestier, IRA
Mahamadi DIANDA, microbiologiste, IRBET
et Antoine GALIANA, microbiologiste, CIRAD-Forêt

Effet de l'inoculation avec trois souches de *Bradyrhizobium* sur la croissance de *Faidherbia albida*.

Faidherbia albida, comme 90 % des espèces appartenant à la sous-famille des *Mimosoideae*, est associé à des rhizobiums, bactéries symbiotiques du sol, au sein de nodules racinaires qui sont le siège de l'activité fixatrice d'azote. Cette aptitude à fixer l'azote atmosphérique permet à cette espèce de croître sur des sols pauvres déficients en azote combiné. NDOYE *et al.* (1995) ont ainsi montré par la méthode de dilution isotopique, après marquage au ^{15}N, que 45 % de l'azote total de jeunes plantes entières provenait de la fixation biologique de l'azote atmosphérique chez *Faidherbia albida*. Cependant, comme pour un certain nombre de légumineuses forestières tropicales, on manque de données précises sur les relations symbiotiques de cette espèce vis-à-vis de son partenaire microbien, que ce soit en termes de nodulation ou d'activité fixatrice d'azote. De telles informations sont pourtant indispensables pour pouvoir sélectionner des souches de rhizobium très effectives avec la plante-hôte qui, une fois inoculées au champ, amélioreront significativement sa croissance.

ÉTAT DES CONNAISSANCES

- **D'après la littérature, *F. albida* n'est nodulé que par *Bradyrhizobium***

DREYFUS et DOMMERGUES (1981) ont, les premiers, classé les acacias en trois groupes en fonction de leur association symbiotique avec les deux genres de rhizobium connus formant des nodules racinaires chez les Légumineuses : *Rhizobium* (*stricto sensu*) et/ou *Bradyrhizobium*.

• Le groupe 1 comprend les espèces *F. albida*, *A. holosericea*, *A. linaroides*, *A. mearnsii* et *A. decurrens* qui sont nodulées de façon effective (c'est-à-dire formation de nodules fixateurs d'azote efficients) avec le genre *Bradyrhizobium* exclusivement.

• Le groupe 2, les espèces *A. nilotica*, *A. raddiana*, *A. senegal* et *A. farnesiana*, nodulées avec le genre *Rhizobium* exclusivement.

• Le groupe 3, *A. seyal* et *A. bivenosa*, nodulées indifféremment avec le genre *Bradyrhizobium* ou le genre *Rhizobium*.

Entre autres critères de différenciation et schématiquement, les deux genres de rhizobium se distinguent par leur vitesse de croissance en culture pure, le genre *Rhizobium* regroupant les rhizobiums à croissance rapide, le genre *Bradyrhizobium*, les rhizobiums à croissance lente. Les bactéries du genre *Rhizobium*, représentées par une dizaine d'espèces bien différenciées, sont en général assez spécifiques vis-à-vis de leur plante-hôte associée tandis que les *Bradyrhizobium*, d'origine tropicale essentiellement, sont peu spécifiques et peuvent noduler un très grand nombre d'espèces. A l'exception des souches spécifiques de *B. japonicum* et *B. elkanii* nodulant le soja, toutes les autres souches de *Bradyrhizobium* sont réunies au sein du groupe indifférencié « Cowpea » et présentent un spectre d'hôte très large. D'ailleurs, plusieurs études taxonomiques en cours utilisant des méthodes de caractérisation moléculaire ont modifié l'ancienne classification des espèces de rhizobiums basée sur leur spectre d'hôte.

- **La nodulation est plus ou moins efficace suivant la provenance des arbres**

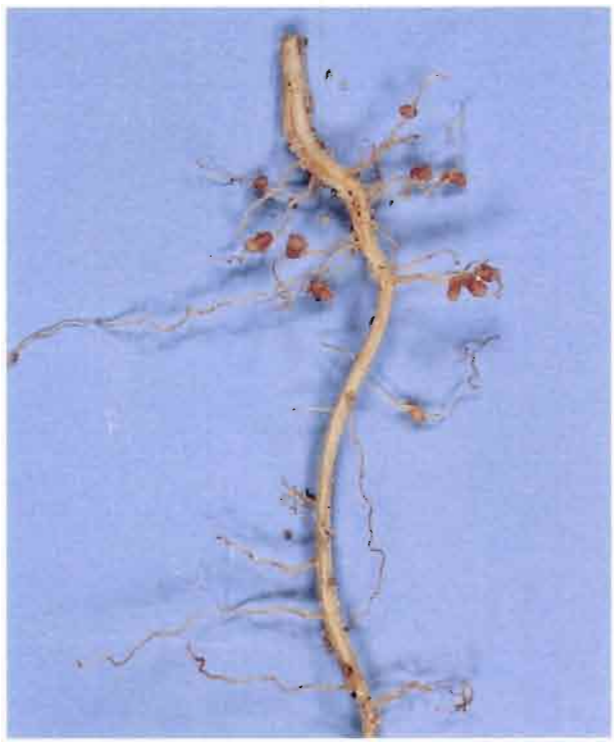
Tout comme le partenaire microbien, la plante-hôte influence également l'effectivité de la symbiose légumineuse-rhizobium. Ainsi plusieurs auteurs ont montré que la nodulation et l'activité fixatrice d'azote de plusieurs espèces de Légumineuses forestières variaient beaucoup suivant la provenance ou le génotype de la plante-hôte (SANGINGA *et al.*, 1990 ; AWONAIKE *et al.*, 1992 ; SUN *et al.*, 1992 ; KWESIGA, 1994 ; LIYANAGE *et al.*, 1994 ; WANYANCHA *et al.*, 1994). Concernant *F. albida*, les travaux qui ont été effectués jusqu'à maintenant semblent indiquer que la croissance et la fructification, mais aussi des critères plus symbiotiques comme la nodulation et la fixation biologique de l'azote, peuvent varier très significativement suivant l'origine de la provenance de la plante-hôte (SNIEZKO, 1987 ; SNIEZKO, STEWART, 1989 ; SANGINGA *et al.*, 1990 ; WANYANCHA *et al.*, 1994). Reste à savoir comment s'exprime cette variabilité génétique de la plante-hôte associée ou non avec rhizobium, vis-à-vis de facteurs limitants du sol qui doivent être impérativement pris en compte lorsque l'on souhaite optimiser dans des conditions réelles la nodulation et la fixation de l'azote par des Légumineuses forestières (BORDELEAU, PRÉVOST, 1994).

OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

La présente étude a pour but de préciser les facteurs permettant d'optimiser la symbiose *F. albida*-rhizobium en répondant à trois objectifs :

- **Sélectionner les souches de rhizobium les plus efficaces...**

Il s'agit de déterminer le groupe d'inoculation croisé (c'est-à-dire le groupe d'espèces nodulées de façon effective par les mêmes souches de rhizobium) auquel appartient *F. albida* et mieux caractériser sa spécificité, afin de sélectionner les souches de rhizobium les plus efficaces possibles susceptibles d'être utilisées comme inoculum bactérien en pépinière forestière. Pour cela, la spécificité de *F. albida* vis-à-vis de différentes souches de *Rhizobium* et de *Bradyrhizobium* de différentes origines sera compa-



rée à celle d'autres espèces de Légumineuses dans le cadre d'un spectre d'hôte de souches. La spécificité rhizobienne définie en termes d'infectivité des souches (soit leur aptitude à former des nodosités) et d'effectivité (aptitude des souches à fixer l'azote au sein des nodosités) sera analysée en testant de façon plus précise l'effet de l'inoculation d'autres souches sélectionnées sur la croissance et la fixation d'azote chez *F. albida*.

On déterminera ensuite les provenances de *F. albida* qui ont la meilleure aptitude à fixer l'azote.

Enfin, on précisera l'effet de facteurs limitants majeurs du sol, comme le pH acide (en présence ou non de fortes concentrations d'aluminium) ou la carence en fer, sur l'aptitude de *F. albida* à fixer l'azote en étudiant plus particulièrement les interactions entre ces facteurs et plusieurs provenances de la plante-hôte.

◀ Système racinaire de *Faidherbia albida* nodulé par rhizobium.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

■ Spectre d'hôte de différentes souches de rhizobium vis-à-vis de *F. albida* et de dix autres espèces de Légumineuses

• Origine des rhizobiums et des Légumineuses

Le spectre d'hôte de neuf souches de *Bradyrhizobium*, ORS800, CB756, ORS117, Aust13c, Aust23c, AG3, PBG3, BayeIR, et TAL72 et de quatre souches de *Rhizobium*, TAL582, ORS915, PJ12 et TAL1405, provenant de différentes origines géographiques et isolées chez différentes espèces (cf. tableau I), a été déterminé vis-à-vis de *F. albida* et de dix autres espèces de Légumineuses. Ces espèces et les provenances utilisées sont les suivantes :

- *F. albida* : provenance Bellokho-Sénégal, lot CIRAD-Forêt n° 86/6237N et provenance Gossos-Sénégal, lot CIRAD-Forêt n° 87/7508N ;
- *Acacia polyacantha* : Mouda-Cameroun, lot CIRAD-Forêt n° 86/5909N ;
- *Acacia senegal* : Diamo-Sénégal, lot CIRAD-Forêt n° 80/3249N ;
- *Acacia nilotica* : Bandia-Sénégal, lot CIRAD-Forêt n° 89/8460N ;
- *Acacia holosericea* : Maroua-Cameroun, lot CIRAD-Forêt n° 89/5906N ;
- *Acacia mangium* : Rex Range-Australie, lot CIRAD-Forêt n° 83/4136N ;
- *Acacia auriculiformis* : Denpelli-Australie, lot CIRAD-Forêt n° 84/4594N ;
- *Macroptilium atropurpureum* Urb. cv. Siratro, lot ORSTOM ;
- *Leucaena leucocephala* : Davao-Philippines, lot CIRAD-Forêt n° 79/2348N ;
- *Prosopis juliflora* : Gamborungala-Nigeria, lot CIRAD-Forêt n° 85/5482N ;
- *Sesbania rostrata* : Dakar-Sénégal, lot ORSTOM.

• Préparation des graines, semis et inoculation

Les graines de *F. albida, A. nilotica, A. mangium, A. auriculiformis, M. atropurpureum, L. leucocephala, P. juliflora* et *S. rostrata* ont été prétraitées par immersion dans l'acide sulfurique concentré (95 %) pendant 5 à 60 minutes selon l'espèce considérée (WITHINGTON, 1986) avant rinçage abondant sous l'eau du robinet et imbibition dans l'eau pendant six heures. Les graines

TABLEAU I
Origine des souches de *Bradyrhizobium* et de *Rhizobium* utilisées dans cette étude

N° de souche [a]	Plante-hôte	Pays d'origine	Références[b]
ORS800	*Acacia holosericea*	Sénégal	1
Aust13c	*Acacia mangium*	Australie	2
Aust23c	*Acacia mangium*	Australie	2
PBG3	*Acacia mangium*	Côte d'Ivoire	2
AG3	*Acacia mangium*	Côte d'Ivoire	2
BayeIR	*Acacia mangium*	Sénégal	2
ORS915 *	*Acacia senegal*	Sénégal	1
TAL72	*Albizia falcataria*	Mexique	3
ORS117	*Faidherbia albida*	Sénégal	4
TAL1405 *	*Leucaena leucocephala*	Inconnu	3
TAL582 *	*Leucaena leucocephala*	Australie	3
CB756	*Macrotyloma africanum*	Zimbabwe	3
PJ12 *	*Prosopis juliflora*	Sénégal	5

[a] Les quatre souches marquées d'une astérisque appartiennent au genre *Rhizobium sensu stricto*, les huit autres souches appartiennent au genre *Bradyrhizobium*
[b] 1 : DREYFUS B. (Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération-Dakar), com. pers., 2 GALIANA, 1990 ; 3 HALLIDAY, SOMASEGARAN, 1984 , 4 DUPUY, DREYFUS, 1992 ; 5 : DIAGNE O. (Institut Sénégalais de Recherche Agronomique-Dakar), com pers.

d'*A. polyacantha*, d'*A. senegal* et d'*A. holosericea* ont été prétraitées par trempage dans l'eau bouillante avant imbibition dans l'eau pendant six heures.

Les plantes ont été cultivées dans des pots en serre ou dans des tubes placés en chambre de culture selon l'espèce considérée. Seul *F. albida* a été cultivé à la fois dans des pots et dans des tubes (les souches ORS800, CB756, TAL582, ORS915 et PJ12 ont été inoculées à des plantes de la provenance Gossos cultivées en pots tandis que les souches Aust13c, Aust23c, AG3, PBG3, Baye IR, TAL72, TAL582 et ORS915 ont été inoculées à des plantes de la provenance Bellokho cultivées *in vitro*). En ce qui concerne les plantes cultivées en pots, les germinations de *F. albida, A. polyacantha, A. senegal, A. nilotica, A. holosericea* ont été transplantées huit à quinze jours après le prétraitement des graines dans des pots en plastique de 400 cm^3 de type jarres de Leonard (1943), contenant un mélange de perlite et de vermiculite en volumes égaux. Les plantes ont été alimentées une fois par semaine à raison de 100 ml de solution minérale sans azote de Broughton et Dilworth (1971), diluée deux fois pendant les quatre premières semaines de croissance des plantes, non diluée ensuite. Six plantes ont été inoculées par souche de rhizobium et par espèce. L'infectivité et l'effectivité des différentes souches de rhizobium ont été déterminées après deux mois de croissance en serre sauf chez *A. holosericea* où les mesures ont été effectuées après douze mois de croissance. Quant aux plantes cultivées en tubes, les graines de *F. albida, A. mangium, A. auriculiformis, M. atropurpureum, L. leucocephala, P. juliflora* et *S. rostrata* ont été mises à germer en boîtes de Petri sur eau gélosée stérile, puis transplantées *in vitro* huit jours à quinze jours après le prétraitement en conditions de culture aseptiques (GALIANA *et al.*, 1990) sur milieu minéral sans azote de Broughton et Dilworth dilué deux fois. Cinq plantes ont été inoculées par souche de rhizobium et par espèce. L'infectivité et l'effectivité des différentes souches de rhizobium vis-à-vis des espèces testées *in vitro* ont été déterminées après cinq mois de croissance des plantes dans les tubes. Les plantes-témoins non inoculées ont été cultivées sur milieu sans azote pendant la même période et dans les mêmes conditions de culture.

- **Mesure de la fixation d'azote**

Les mêmes paramètres ont été déterminés sur tous les plants : l'activité réductrice de l'acétylène (ARA) des plantes nodulées estimant l'activité enzymatique de la nitrogénase, et donc leur activité fixatrice d'azote, a été mesurée par chromatographie en phase gazeuse selon la méthode de HARDY *et al.* (1968). Les parties aériennes des plantes, les racines et les nodules détachés ont été mis à sécher à l'étuve pendant 48 heures à 60 °C avant détermination de leurs matières sèches respectives. La quantité d'azote total contenue dans les parties aériennes a été déterminée par la méthode Kjeldahl (BREMNER, MULVANEY, 1982). La quantité d'azote total fixé a été mesurée en soustrayant la quantité d'azote total contenu dans les parties aériennes des plantes-témoins non inoculées de celle des plantes inoculées avec les différentes souches. Les différents paramètres mesurés ont été soumis à une analyse de variance à un facteur et les moyennes des différents traitements ont été classées en groupes homogènes avec le test de Newman and Keuls (DAGNÉLIE, 1969).

■ Effet combiné de l'acidité (pH 4,5) et de l'aluminium ($AlCl_3$) sur la symbiose *F. albida* - *Bradyrhizobium*

• Origine des *F. albida*, traitement des graines et culture

Nous avons étudié cinq provenances de *F. albida*, toutes originaires d'Afrique :

- Kongoussi-Burkina Faso, lot CIRAD-Forêt n° 91/9147N ;
- Katima-Afrique du Sud, lot CIRAD-Forêt n° 90/9066N ;
- Bignona-Sénégal, lot CIRAD-Forêt n° 86/6676N ;
- Sarro-Mali, lot CIRAD-Forêt n° 86/5841N ;
- Matameye-Niger, lot CIRAD-Forêt n° 86/5838N.

Les graines de chacune de ces provenances ont été scarifiées dans de l'acide sulfurique concentré (95 %) pendant 20 minutes. Après plusieurs rinçages avec de l'eau du robinet, elles ont été semées en serre dans un mélange de perlite et de vermiculite. Le dispositif utilisé est un système de culture hydroponique. Il est constitué de trois pots en plastique superposés : le gobelet supérieur qui contient la solution nutritive des plantes (250 ml), le vase intermédiaire dans lequel est déposé le gobelet, dont le rôle est de créer l'obscurité au niveau des racines des plantes, et le vase inférieur rempli de sable qui stabilise le dispositif. La plante est maintenue à la surface de la solution nutritive grâce à un flotteur en polystyrène (plaque de 3 cm de côté) dans lequel elle est insérée. Un couvercle en carton est placé sur le gobelet afin de compléter l'obscurité et d'éviter la formation d'algues.

• Solution nutritive, pH, doses d'aluminium, inoculation et mesures

Pour chaque provenance, nous avons étudié :

- La nodulation et la croissance des plantes à pH 6,8 et à pH 4,5.
- La nodulation et la croissance des plantes en présence de 0, 30 et 100 µM d'$AlCl_3$, le tout à pH 4,5.

Les jeunes plantes sont mises en place dans de la solution nutritive de Broughton et Dilworth (1971) entre le 7^{e} et le 10^{e} jour après semis, à raison de deux plantes par pot. Elles sont inoculées avec 200 µl d'une culture en YEM de la souche de *Bradyrhizobium* BayelR agée de sept jours, contenant 10^9 bactéries ml^{-1}. La solution nutritive est renouvelée toutes les semaines, ainsi que l'inoculation afin de maintenir le plus longtemps possible le milieu au pH initial. Après trois mois de culture en serre, les plantes ont été récoltées afin de mesurer les biomasses aériennes, racinaires et de nodules (étuve à 60 °C pendant 72 heures), le nombre de nodules et la teneur en azote total dans les parties aériennes par la méthode de Kjeldhal.

■ Influence du fer sur la nodulation et la fixation d'azote de deux provenances de *F. albida*

Au cours de cette expérience, nous avons testé deux provenances de *F. albida* (Bignona-Sénégal et Kongoussi-Burkina Faso). Les graines ont été scarifiées, mises à germer et cultivées suivant la même procédure que celle décrite lors de l'expérience précédente. Pour chaque provenance, nous avons cultivé douze plantes dans de la solution complète de Broughton et Dilworth (1971), et douze autres plantes dans de la solution nutritive dépourvue de citrate de fer. Les plantes ont été inoculées avec la souche de *Bradyrhizobium* BayelR comme lors de l'expérience précédente. Après trois mois de culture en serre, les plantes ont été récoltées afin de mesurer les biomasses aériennes, racinaires et de nodules (étuve à 60 °C pendant 72 heures), la teneur en chlorophylle foliaire par la technique de Hiscox, Israelstam (1979) et la teneur en azote total dans les parties aériennes par la méthode de Kjeldhal.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

■ Spectre d'hôte de différentes souches de rhizobium vis-à-vis de *F. albida* et de dix autres espèces de Légumineuses

• *F. albida* est nodulé par des souches de *Rhizobium* et de *Bradyrhizobium*...

Le tableau II représentant le spectre d'hôte de différentes souches de rhizobium montre que toutes les souches de *Bradyrhizobium* testées dans notre étude sont infectives (c'est-à-dire forment des nodules racinaires) et effectives (fixent l'azote) vis-à-vis de *F. albida*, des six espèces d'*Acacia* testées et de *Macroptilium atropurpureum*. L'effectivité de ces souches de *Bradyrhizobium* varie cependant selon l'espèce considérée. Ainsi, chez *F. albida*, trois souches de *Bradyrhizobium* sur huit, ORS800, CB756 et BayelR, forment des nodules effectifs tandis que les cinq autres forment des nodules peu effectifs. En d'autres termes, toutes les souches de

TABLEAU II
Spectre d'hôtes de différentes souches de rhizobium vis-à-vis de *F. albida* et d'autres Légumineuses arborées

Souche de rhizobium	*Bradyrhizobium*									*Rhizobium*			
	ORS800	CB756	ORS117	Aust13c	Aust23c	AG3	PBG3	BayelR	TAL72	TAL582	ORS915	PJ12	TAL1405
Plante-hôte testée													
Faidherbia albida	E	E	nd	e	e	e	e	E	e	E	E	E	I
Acacia polyacantha	e	e	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	e	e	e	nd
Acacia senegal	e	e	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	e	e	0	nd
Acacia nilotica	e	e	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0	0	0	nd
Acacia holosericea	E	E	e	0	nd	nd	nd	nd	nd	E	E	E	nd
Acacia mangium	e	e	nd	E	E	E	E	E	E	nd	nd	I	I
Acacia auriculiformis	E	E	nd	E	E	E	E	E	E	nd	nd	I	I
Macroptilium atropurpureum	E	E	nd	E	E	E	E	E	E	nd	nd	I	I
Leucaena leucocephala	I	I	nd	I	I	I	I	I	I	nd	nd	E	E
Prosopis juliflora	0	0	nd	0	0	0	0	0	0	nd	nd	E	0
Sesbania rostrata	0	0	nd	0	0	0	0	0	0	nd	nd	0	0

E Nodules effectifs (c'est-à-dire formés par des souches ayant un effet positif significatif sur la croissance en biomasse des plantes par rapport aux plantes-témoins non inoculées)
e : Nodules peu effectifs (c'est-à-dire formés par des souches n'ayant pas d'effet positif significatif sur la croissance en biomasse des plantes mais dont l'activité fixatrice d'azote mesurée par l'ARA est significative).
I : Nodules ineffectifs
0 Absence de nodules.
nd : non déterminé

Bradyrhizobium forment des nodules fixateurs d'azote, comme l'atteste la mesure d'une activité réductrice de l'acétylène (ARA) (résultats non détaillés), mais trois souches sur huit seulement ont un effet positif sur la croissance des plants par rapport aux plants témoins non inoculés à ce stade de leur développement, soit deux ou cinq mois après la germination. A l'inverse, chez *A. mangium*, les souches ORS800 et CB756 sont peu effectives tandis que les six autres sont effectives. *F. albida*, comme *A. holosericea*, est nodulé indifféremment par des souches de *Rhizobium* et de *Bradyrhizobium* aux effectivités variables. *Acacia polyacantha* et *A. senegal* sont également nodulés par les deux genres de rhizobium mais les souches testées restent peu effectives. Cependant, la courte durée de l'expérience est peut-être insuffisante chez ces deux dernières espèces, où les plantes ont été récoltées deux mois après l'inoculation, pour que les souches expriment au mieux leurs potentialités en particulier chez *A. polyacantha* où les souches CB756 et PJ12 sont beaucoup plus infectives que les autres. *Acacia nilotica* reste faiblement nodulé par des souches de *Bradyrhizobium* peu effectives.

- **... Contrairement à d'autres Légumineuses**

Par contre, aucune des souches de *Bradyrhizobium* testées n'est effective vis-à-vis des trois autres espèces étudiées : *Leucaena leucocephala, Prosopis juliflora* et *Sesbania rostrata.* Ces dernières espèces peuvent être considérées comme spécifiques puisqu'aucune souche de *Rhizobium*, ou au maximum deux, ne les nodule, ces souches ayant de plus été isolées chez *P. juliflora* ou *L. leucocephala.* Notons cependant que

Spectre d'hôte de rhizobium vis-à-vis de six Légumineuses, dont *Faidherbia albida*.

toutes les souches de *Bradyrhizobium* testées forment des nodules ineffectifs sur *Leucaena leucocephala*.

Aucune des souches de *Rhizobium* testées, à croissance rapide, ne forme de nodules efficients chez *A. nilotica*, *A. mangium*, *A. auriculiformis* et *M. atropurpureum*, espèces qui à l'inverse étaient nodulées de façon effective par toutes les souches de *Bradyrhizobium*. Ajoutons ici que *Macroptilium atropurpureum* est une espèce herbacée de référence utilisée pour caractériser les souches de rhizobium. Elle est connue pour être nodulée exclusivement par des souches de *Bradyrhizobium* du groupe Cowpea, auquel appartiennent toutes les souches testées dans notre étude. Enfin, notons qu'aucune souche de *Rhizobium* ou de *Bradyrhizobium* ne nodule *Sesbania rostrata*.

- **Un essai de classification des Légumineuses suivant leur spécificité vis-à-vis des rhizobiums**

Les résultats du spectre d'hôte des treize souches testées montrent donc que *F. albida* et les dix autres espèces de Légumineuses étudiées peuvent être regroupées en quatre catégories distinctes en fonction de leur spécificité vis-à-vis de rhizobium :

• La première catégorie comprend les espèces non spécifiques avec *F. albida*, *A. polyacantha*, *A. senegal* et *A. holosericea* puisqu'elles sont nodulées indifféremment par des souches de *Bradyrhizobium* et de *Rhizobium* aux effectivités variables.

• *A. auriculiformis*, *A. nilotica* et *M. atropurpureum* peuvent être considérés comme des plantes-hôtes peu spécifiques puisqu'elles nodulent et fixent autant d'azote avec toutes les souches de *Bradyrhizobium* testées. En revanche, les souches de *Rhizobium* ne forment pas de nodules efficients chez ces espèces.

• *A. mangium*, nodulé par des *Bradyrhizobium* exclusivement, peut être considéré comme une plante-hôte spécifique puisque l'infectivité et l'effectivité des différentes souches testées varient fortement.

• Enfin, *Leucaena leucocephala*, *Prosopis juliflora* et *Sesbania rostrata* sont des espèces très spécifiques, nodulées par un nombre restreint de souches de *Rhizobium*.

■ Infectivité et effectivité de différentes souches de *Rhizobium* et de *Bradyrhizobium* vis-à-vis de *F. albida*

Les résultats reportés dans le tableau III montrent que toutes les souches de *Bradyrhizobium* (ORS800 et CB756) et de *Rhizobium* (ORS915, PJ12 et TAL582) utilisées forment des nodules efficients chez *F. albida* après deux mois de croissance des plantes dans les pots, les plantes inoculées ayant un poids sec de par-

TABLEAU III

Effet de l'inoculation de *F. albida* avec différentes souches de rhizobium sur la croissance, la nodulation et la fixation d'azote

Souche	Poids sec des parties aériennes (mg/plante)	Azote total fixé (mg/plante)	Nombre de nodules par plante	Poids sec de nodules (mg/plante)	Activité réductrice de l'acétylène (nmol/h/plant)
ORS800	172,1a	1,4a	9,7a	3,5a	67,4a
CB756	157,4a	0,8a	2,2a	2,8a	30,1a
ORS915	156,7a	0,4a	1,7a	1,8a	24,1a
PJ12	151,8a	0,5a	5,2a	2,3a	7,4a
TAL582	144,5a	0a	3,8a	5,0a	44,1a
Témoin non inoculé	99,9b	—	0	—	—

Dans chaque colonne, les valeurs (moyennes de six répétitions mesurées sur des plants de deux mois cultivés en serres) suivies d'une même lettre ne diffèrent pas significativement (test de Newman et Keuls, $P < 0,05$).

Effet de l'inoculation avec trois souches de *Rhizobium* sur la croissance de *Faidherbia albida*.

ties aériennes 45 à 72 % supérieur selon les souches à celui des plantes-témoins non inoculées (significatif à $P < 0,05$). Aucune différence significative entre les souches n'est perceptible tant au niveau de leur effet sur la croissance des plants qu'au niveau du nombre et du poids sec de nodules formés bien que la nodulation varie fortement d'une souche à l'autre. Cette absence de différence significative au niveau de la nodulation est due à l'importante variabilité observée entre les plantes inoculées au sein d'un même traitement souche et donc à la variabilité génétique du matériel végétal. Il en est de même pour l'activité réductrice de l'acétylène qui ne peut être appréciée que de façon qualitative en raison de sa valeur instantanée contrairement à la quantité d'azote total fixée qui est une valeur cumulative. La quantité d'azote total fixée ne varie pas non plus de façon significative en fonction de la souche de rhizobium utilisée après deux mois de croissance des plantes.

■ Effet combiné de l'acidité (pH 4,5) et de l'aluminium ($AlCl_3$) sur la symbiose *F. albida - Bradyrhizobium*

• L'acidité favorise la nodulation de *F. albida*

Comme le montre les résultats du tableau IV, on constate que la croissance des différentes provenances de *F. albida* n'est pas affectée par l'acidité du milieu de culture. De même, bien que l'on observe des différences de croissance entre les provenances testées, l'analyse statistique montre que les biomasses aériennes et racinaires produites par chacune des cinq provenances testées ne diffèrent pas significativement entre elles (Test de Newman et Keuls, $P < 0,05$). En ce qui concerne la nodulation, on s'aperçoit que l'acidité du milieu favorise la nodulation de *F. albida* puisque le nombre et la biomasse de nodules par plante sont significativement plus élevés à pH 4,5 qu'à pH 6,8. Cette plus forte nodulation se traduit par des teneurs en azote total plus élevées dans les parties aériennes des plantes cultivées dans un pH acide que celles obtenues chez les plantes cultivées à pH neutre. Lorsque l'on compare la nodulation des provenances entre

TABLEAU IV
Influence du pH sur la symbiose *F. albida* - *Bradyrhyzobium* (souche BayeiR) après trois mois de culture hydroponique en serre

Provenance	Poids sec des parties aériennes (g/plante)		Poids sec des parties racinaires (g/plante)		Nombre de nodules (nodule/plante)		Poids sec de nodules (mg/plante)		Teneur en azote total des parties aériennes (mg/plante)	
	pH 6,8	pH 4,5	pH 6,8	pH 4,5	pH 6,8	pH 4,5	pH 6,8	pH 4,5	pH 6,8	pH 4,5
Bignona	0,25a	0,43a	0,10a	0,15a	7c	81a	5,4c	52,4a	4,95b	6,60b
Sarro	0,29a	0,32a	0,15a	0,17a	13b	62a	17,1a	37,9b	4,53cd	5,61c
Kongoussi	0,27a	0,40a	0,17a	0,22a	22a	83a	14,0b	53,8a	4,37d	7,20a
Matameye	0,32a	0,32a	0,15a	0,16a	12b	68a	12,9b	35,5c	4,63c	5,66c
Katima	0,52a	0,56a	0,23a	0,23a	3c	29b	3,6c	38,2b	5,38a	7,27a
Moyenne	0,33A	0,41A	0,16A	0,19A	12B	65A	21,4B	43,6A	4,77B	6,47A

Pour chaque paramètre étudié, toutes les valeurs (moyenne de 12 répétitions) situées dans une même colonne ont été analysées séparément au niveau statistique afin de mettre en évidence un éventuel « effet provenance ». Les valeurs suivies par la même lettre minuscule ne diffèrent pas significativement (test de Newman et Keuls, $P < 0,05$). Concernant un « effet pH » sur chaque paramètre mesuré, les moyennes des provenances testées (dernière ligne horizontale) suivies par la même lettre majuscule ne diffèrent pas significativement (test de Newman et Keuls, $P < 0,05$).

elles, on remarque que l'aptitude à noduler chez la provenance Katima est significativement plus faible que celle des autres provenances testées. Cette constatation est d'autant plus intéressante que ce sont les plantes de cette même provenance qui produisent la plus forte biomasse, que ce soit à pH 6,8 ou à pH 4,5. De tels résultats semblent mettre en évidence une plus grande vigueur de croissance chez cette provenance d'Afrique du Sud par rapport aux autres provenances d'Afrique de l'Ouest. WANYANCHA *et al.* (1994) ont également constaté qu'après 42 mois de plantation, les provenances d'Afrique du Sud et d'Afrique de l'Est avaient une meilleure croissance que celles d'Afrique de l'Ouest. Cependant, il semble falloir nuancer quelque peu la supériorité de ces provenances vis-à-vis de provenances telles que Bignona et Kongoussi originaires respectivement du Burkina Faso et du Sénégal car, lors d'essais effectués en conditions réelles au Burkina Faso, les provenances sud-africaines ont eu une meilleure croissance que les autres provenances au cours des trois années qui ont suivi la plantation. Mais cette différence de croissance s'est estompée progressivement dans le temps au profit des provenances locales, comme Kongoussi ou Bignona, sans que l'on puisse avancer une quelconque explication à ce phénomème (M. DIANDA, résultats non publiés). Aux vues de tous nos résultats, on pourrait émettre l'hypothèse que les provenances Kongoussi et Bignona seraient mieux adaptées aux conditions de sol acide que la provenance Katima, surtout en ce qui concerne la nodulation. Une mauvaise nodulation pourrait s'avérer être insuffisante au fur et à mesure que l'arbre croît, ce qui aurait pour conséquence de réduire fortement le développement de ce dernier au cours du temps *.

- **L'aluminium n'inhibe pas la croissance et la nodulation de *F. albida***

Nous n'avons observé aucun effet inhibiteur de l'aluminium sur la croissance et la nodulation de *F. albida* (résultats non présentés). Toutes les provenances testées croissent et nodulent aussi bien en présence de 30 ou 100 µM d'$AlCl_3$ qu'en l'absence de ce dernier, ce qui confirme la parfaite adaptation de la symbiose *F. albida*-rhizobium aux fortes concentrations en aluminium, et ce quelles que soient les provenances.

* NdIr. Cependant d'autres explications peuvent être proposées. Il est possible que les provenances australes développent un enracinement superficiel qui leur permettent de démarrer plus vite en utilisant l'eau de pluie, alors que les provenances soudaniennes ou sahéliennes développeraient un enracinement profond, leur donnant l'avantage dès qu'elles ont atteint la nappe phréatique (voir également articles de ROUPSARD *et al.*, de BASTIDE et DIALLO et de HARMAND *et al.* dans le même recueil).

Enfin, il est intéressant de comparer le comportement de la symbiose *F. albida*-rhizobium avec celui de la symbiose *Acacia mangium-Bradyrhizobium* vis-à-vis de l'acidité du milieu associée ou non à un problème de toxicité aluminique. En effet, chez cette symbiose, LESUEUR *et al.* (1993) ont montré qu'un pH très acide (pH 4,5) favorisait très nettement la croissance et la nodulation des différentes provenances d'*A. mangium*. Il est connu des forestiers qu'*A. mangium* est une espèce de choix pour réaliser des plantations dans des sols marginaux acides en zone tropicale humide, mais ASHWAT *et al.* (1990) ont montré que la tolérance de différentes espèces d'acacia (vingt espèces y compris *A. mangium*) à l'acidité variait suivant que la plante était fertilisée avec de l'azote combiné ou qu'elle recevait l'azote de la fixation biologique. Les travaux de LESUEUR *et al.* (1993) ont montré que la symbiose *A. mangium-Bradyrhizobium* dans son entier était naturellement adaptée à ce type de sol, à condition d'inoculer la plante-hôte avec une souche adéquate de *Bradyrhizobium*, mais nous reviendrons sur cet aspect du choix du partenaire microbien dans la conclusion de notre article. En ce qui concerne *F. albida*, nos résultats nous ont permis d'aboutir aux mêmes conclusions, bien que la croissance de *F. albida* n'ait pas été significativement stimulée par l'acidité du sol comme dans le cas d'*A. mangium*. Malgré tout, la symbiose *F. albida*-rhizobium est naturellement adaptée aux conditions de sol acide, et son indifférence vis-à-vis de fortes concentrations d'aluminium ne fait que renforcer cette affirmation.

■ Influence du fer sur la nodulation et la fixation d'azote de deux provenances de *F. albida*

- **La carence en fer diminue la croissance et la nodulation de *F. albida***

L'ensemble des résultats présentés dans le tableau V montre que, contrairement à ce que nous avons vu avec l'acidité, la carence en fer dans le milieu de culture affecte significativement la croissance et la nodulation de *F. albida*. C'est ainsi que la biomasse aérienne et la teneur en chlorophylle foliaire des deux provenances testées sont réduites de plus de la moitié lorsque la plante est cultivée en absence de fer. En revanche, la biomasse de racines n'est pas significativement réduite dans un milieu carencé en fer. En ce qui concerne la nodulation, on note la présence de nodules sur les racines des plantes cultivées en l'absence de fer, mais la biomasse de nodules chez ces plantes est réduite de 60 % par rapport aux valeurs obtenues chez les plantes cultivées dans la solution nutritive complète. La teneur en azote total dans les

TABLEAU V

Influence du fer sur la symbiose *F. albida* - *Bradyrhizobium* (souche BayelR) après trois mois de culture hydroponique en serre

Provenance	Poids sec des parties aériennes (g/plante)		Poids sec des parties racinaires (g/plante)		Poids sec de nodules (mg/plante)		Teneur en chlorophylle foliaire (mg/g de poids frais)		Teneur en azote total des parties aériennes (mg/plante)	
	- fer	+ fer	- fer	+ fer	- fer	+ fer	- fer	+ fer	- fer	+ fer
Bignona	0,34a	0,70a	0,19a	0,28a	51,1a	107,8a	0,79b	1,80b	4,15a	17,10a
Kongoussi	0,18b	0,37b	0,11a	0,24a	23,2b	77,6b	1,05a	2,06a	2,93b	8,50b
Moyenne	0,26B	0,54A	0,15A	0,26A	37,2B	92,7A	0,92B	1,93A	3,54B	12,80A

Pour chaque paramètre étudié, toutes les valeurs (moyenne de 12 répétitions) situées dans une même colonne ont été statistiquement analysées séparément afin de mettre en évidence un éventuel « effet provenance ». Les valeurs suivies par la même lettre minuscule ne diffèrent pas significativement (test de Newman et Keuls, $P < 0,05$). Concernant un « effet fer » sur chaque paramètre mesuré, les moyennes des provenances testées (dernière ligne horizontale) suivies par la même lettre majuscule ne diffèrent pas significativement (test de Newman et Keuls, $P < 0,05$).

parties aériennes est également très sévèrement réduite (72 %) par la carence en fer dans le milieu de culture.

En ce qui concerne le comportement des deux provenances testées dans la solution minérale complète, on note que la provenance sénégalaise Bignona a globalement une meilleure croissance que la provenance Kongoussi du Burkina Faso même si cette dernière a des teneurs en chlorophylle foliaire supérieures à celles de Bignona. En absence de fer, cette supériorité de Bignona sur Kongoussi est toujours significativement existante, mais elle est moins marquée que dans les conditions non limitantes en fer. Si l'on prend l'exemple de la teneur en azote total, on constate que les parties aériennes des plantes de Kongoussi contiennent environ 50 % d'azote en moins que celles de la provenance Bignona. Pour le même paramètre, la différence n'est plus que de 30 % lorsque les plantes sont cultivées en absence de fer.

Effet du fer sur la croissance de *Faidherbia albida*.

- ***F. albida* résiste un peu mieux à la carence en fer que d'autres Légumineuses...**

A titre de comparaison, chez *A. mangium* l'absence de fer dans la solution nutritive inhibe totalement la nodulation, et sa croissance est fortement réduite par rapport aux plantes-témoins (LESUEUR, DIEM, 1996). Au travers de nos résultats, il semble que la symbiose *F. albida*-rhizobium soit moins exigeante en fer que la symbiose *A. mangium-Bradyrhizobium*, même si sa nodulation et sa croissance sont fortement inhibées lors d'une carence dans cet oligo-élément. Ces exigences en fer de la part de ces deux espèces ne sont pas surprenantes car nous venons de voir qu'il s'agit de Légumineuses parfaitement adaptées aux sols acides dans lesquels, classiquement, le fer est en quantité non limitante. On peut en déduire que *F. albida* et *A. mangium* ne disposent pas de systèmes de capture du fer très efficaces du type de ceux décrits dans la mise au point de Marschner, Römheld (1994). Ce qui signifie qu'*A. mangium* et, à un degré moindre, *F. albida* ont des difficultés pour s'associer efficacement avec rhizobium dans des sols où le fer libre est en quantité insuffisante.

- **... Mais, sur sol calcaire, il faut peut-être apporter du fer ou des rhizobiums producteurs de sidérophores**

HEMANTARANJA (1988) ainsi que LESUEUR et DIEM (1996) sont parvenus par fertilisation ferrique (apport de Fe-EDDHA ou Sequestrène, ou pulvérisations foliaires de $FeSO_4$) à améliorer la nodulation et la fixation d'azote d'espèces sensibles à la carence en fer (respectivement *Phaseolus vulgaris* et *A. mangium*) lorsque ces dernières étaient cultivées dans un sol calcaire. C'est pourquoi ce type de technique pourrait être appliquée à *F. albida* si l'on souhaitait mettre en place cette essence dans des sols calcaires, mais reste le problème du surcoût qu'entraîne ce genre d'opération. La meilleure solution serait alors d'inoculer chaque plant de *F. albida* avec une souche de rhizobium productrice de sidérophores (agent chélateur du fer d'origine microbienne) qui, en captant le fer pour son propre compte, en ferait bénéficier la plante et la symbiose dans son entier à l'image de ce qui a été obtenu par DERYLO et SKORUPSKA (1992), ainsi que par O'HARA *et al.* (1988) chez respectivement *Trifolium pratense* et *Arachis hypogaea*.

CONCLUSION

Le spectre d'hôte de treize souches de rhizobium d'origines variées a montré que *F. albida* était une plante-hôte non spécifique puisqu'elle nodulait indifféremment avec des souches de *Rhizobium* et de *Bradyrhizobium*. Ces résultats montrent également que *F. albida* n'appartient pas typiquement au groupe des arbres fixateurs d'azote nodulés exclusivement par le genre *Bradyrhizobium* comme le suggéraient DREYFUS et DOMMERGUES dans une étude précédente (1981) puisque les souches de *Rhizobium* ORS915, PJ12 et TAL582 induisent la formation de nodules fixateurs d'azote ayant un effet significatif sur la croissance des plantes par rapport aux plantes témoins non inoculées. Bien que nos résultats montrent que *F. albida* peut être nodulé par des souches de *Rhizobium* de collection en conditions contrôlées et monoxéniques (c'est-à-dire avec une seule souche bactérienne présente au niveau des racines), toutes les souches de *F. albida*, isolées à ce jour à partir de nodules spontanés récoltés sur le terrain dans divers pays et répertoriés dans les collections et banques de souches internationales, appartiennent au genre *Bradyrhizobium* du groupe « Cowpea » (HALLIDAY, SOMASEGARAN, 1984 ; DUPUY, DREYFUS, 1992). Les deux types de souches étant en général présentes en même temps dans tous les types de sols avant l'introduction d'une espèce donnée, il est donc probable que les souches de *Bradyrhizobium* présentes dans le sol soient plus compétitives vis-à-vis de *F. albida* que celles de *Rhizobium* dès les premiers stades d'établissement de la symbiose. Cette meilleure compétitivité pourrait être liée à des mécanismes de reconnaissance plus spécifiques (facteurs Nod produits par la bactérie) entre les souches du genre *Bradyrhizobium* et *F. albida*.

L'objectif de la seconde partie de notre travail a donc été de mettre l'accent sur la nécessité de prendre en considération les différents facteurs écophysiologiques qui peuvent influencer la mise en place et le fonctionnement de la symbiose *F. albida-rhizobium* au sein d'un parc arboré. Par expérience, on sait que le risque d'aboutir à un échec est grand, si l'on fait l'impasse sur ces aspects. C'est ce qui s'est passé, lors d'un essai « inoculation » mis en place en Casamance (Sénégal), par DUCOUSSO *et al.* (1994) : dans cet essai, ces auteurs ont inoculé au champ de jeunes plants de *F. albida* avec deux souches de *Bradyrhizobium* dont on ne connaissait rien au niveau écophysiologique. Les résultats qui ont été obtenus ont montré l'inefficacité de ces inoculations par rapport aux plantes-témoins non inoculées, mais nodulées par les souches locales de rhizobium. Ces auteurs en déduisent que les deux souches testées étaient non compétitives vis-à-vis des souches locales et qu'il serait préférable à l'avenir d'utiliser des souches de rhizobium originaires de Casamance. Ceci montre bien l'importance cruciale du choix de la souche de rhizobium et de la provenance les plus appropriées au type de sol considéré, afin de permettre au paysan d'augmenter au sein de son parc la production de bois, de fourrage et la fertilité du sol.

Dans la pratique, lorsqu'on souhaite créer une pépinière de *F. albida*, on laissera en général les jeunes arbres noduler spontanément avec une souche locale bien adaptée au milieu, où ils seront installés par la suite, et en particulier au sol (pH, carences diverses...). Avant de faire le coûteux investissement qui consiste à stériliser le sol puis à introduire une souche connue, il faudra vérifier si cette dernière est vraiment plus performante que les souches spontanées dans ce milieu donné.

Remerciements : *Mahamadi DIANDA et C.F. NJITI sont reconnaissants au CIRAD-Forêt d'avoir financé les stages qu'ils ont effectués au Laboratoire de Biotechnologie des Symbioses Forestières Tropicales (CIRAD-Forêt/ORSTOM) de Nogent sur Marne (France).* ■

RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUES

ASHWATH (N.), DART (P.J.), EDWARDS (D.G.), 1990. — What limits growth of acacias in acid soils ? Nitrogen Fixing Tree Research Reports, 8, 93-94.

AWONAIKE (K.O.), HARDARSON (G.), KUMARASINGHE (K.S.), 1992. — Biological nitrogen fixation of *Gliricidia sepium/Rhizobium* symbiosis as influenced by plant genotypes, bacterial strain and their interactions. Tropical Agriculture (Trinidad), 69 (4), 381-385.

BORDELEAU (L.M.), PREVOST (D.), 1994. — Nodulation and nitrogen fixation in extreme environments. Plant and Soil, 161, 115-125.

BREMNER (J.M.), MULVANEY (C.S.), 1982. — Nitrogen total. In Method of soil analysis, part.2, ed. PAGE (A.L.). Madison, Wisconsin, American Society Agronomy, p 595-624.

BROUGHTON (W.J.), DILWORTH (M.J.), 1971. — Control of leghaemoglobin synthesis in snake beans. Biochemistry Journal, 125, 1075-1080.

DAGNELIE (P.), 1969. — Théorie et méthodes statistiques. Tomes I et II. Duculot, Gembloux.

DERYLO (M.), SKORUPSKA (A.), 1992. — Rhizobial siderophore as an iron source for clover. Physiologia Plantarum, 85, 549-553.

DREYFUS (B.L.), DOMMERGUES (Y.R.), 1981. — Nodulation of *Acacia* species by fast– and slow-growing tropical strains of *Rhizobium*. Applied and Environmental Microbiology, 41, 97-99.

DUCOUSSO (M.), SOUGOUFARA (B.), DUPUY (N.), DREYFUS (B.), 1994. — Rôle de deux acacias (*Acacia mangium* et *Faidherbia albida*) dans le maintien et l'amélioration de la fertilité des sols en Basse Casamance. Rapport Final du projet n° 91 L 0685 financé par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, 25 p.

DUPUY (N.C.), DREYFUS (B.L.), 1992. — *Bradyrhizobium* populations occur in deep soil under the leguminous tree *Acacia albida*. Applied Environmental Microbiology, 58 : 2415-2419.

GALIANA (A.), 1990. — La symbiose *Acacia mangium*-rhizobium. Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie Curie (ParisVI), 246 p.

GALIANA (A.), CHAUMONT (J.), DIEM (H.G.), DOMMERGUES (Y.R.), 1990. — Nitrogen-fixing potential of *Acacia mangium* and *Acacia auriculiformis* seedlings inoculated with *Bradyrhizobium* and *Rhizobium spp.* Biology and Fertility of Soils, 9 : 261-267.

HALLIDAY (J.), SOMASEGARAN (P.), 1984. — The rhizobium germplasm resource at NifTAL, Catalogue of strains. University of Hawaii, USA.

HARDY (R.W.), HOLTSEN (R.D.), JACKSON (E.K.), BURNS (R.C.), 1968. — The acetylene-ethylene assay for N^2-fixation : laboratory and field estimation. Plant Physiol., 43 : 1185-1207.

HEMANTARANJA (A.), 1988. — Iron fertilization in relation to nodulation and nitrogen fixation in French bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Plant Nutrition, 11, 829-842.

HISCOX (J.D.), ISRAELSTAM (G.F.), 1979. — A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. Canadian Journal Botany, 57, 1332-1334.

JORDAN (D.C.), 1984. — Rhizobiaceae, p234-245. *In :* N.R. Krieg and J.G. Holt (ed.), Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, vol.1. The Williams & Wilkins, Co., Baltimore.

KWESIGA (F.), 1994. — Performance of fifteen provenances of *Gliricidia sepium* in eastern Zambia. Forest Ecology and Management, 64, 161-170.

LEONARD (L.T.), 1943. — Method of testing bacterial cultures and results of test of commercial inoculants. Washington, USDA, Circ. No 703, Washington DC, p. 8.

LESUEUR (D.), DIEM (H.G.), 1996. — Adaptability of the *Acacia mangium-Bradyrhizobium* symbiosis to acid soils : Evidence for the requirement of iron as an essential nutrient for nodulation and growth of the host plant. Journal of Experimental Botany (article soumis).

LESUEUR (D.), DIEM (H.G.), DIANDA (M.), LEROUX (C.), 1993. — Selection of *Bradyrhizobium* strains and provenances of *Acacia mangium* and *Faidherbia albida* : Relationship with their tolerance to acidity and aluminium. Plant and Soil, 149, 159-166.

LIYANAGE (M.S.), DANSO (S.K.A.), JAYASUNDARA (H.P.S.), 1994. — Biological nitrogen fixation in four *Gliricidia sepium* genotypes. Plant and Soil, 161, 267-274.

MARSCHNER (H.), RÖMHELD (V.), 1994. — Strategies of plants for acquisition of iron. Plant and Soil, 165, 261-274.

NDOYE (I.), GUEYE (M.), DANSO (S.K.A.), DREYFUS (B.), 1995. — Nitrogen Fixation in *Faidherbia albida, Acacia raddiana, Acacia senegal* and *Acacia seyal* estimated using the ^{15}N isotope dilution technique. Plant and Soil, 173, 175-180.

O'HARA (G.), HARTZOOK (A.), BELL (R.W.), LONERAGAN (J.F.), 1988. — Response to *Bradyrhizobium* strain of peanut cultivars grown under iron stress. Journal of Plant Nutrition, 11, 843-852.

SANGINGA (N.), BOWEN (G.D.), DANSO (S.K.A.), 1990. — Assessment of genetic variability for N_2 fixation between and within provenances of *Leucaena leucocephala* and *Acacia albida* estimated by ^{15}N labelling techniques. Plant and Soil, 127, 169-178.

SNIEZKO (R.A.), 1987. — Range-wide provenance variation in nodulation of *Acacia albida* seedlings. Nitrogen Fixing Tree Research Reports, 5, 20-21.

SNIEZKO (R.A.), STEWART (H.T.L.), 1989. — Range-wide provenance variation in growth and nutrition of *Acacia albida* seedlings propagated in Zimbabwe. Forest Ecology and Management, 27, 179-197.

SUN (J.S.), SANDS (R.), SIMPSON (R.J.), 1992. — Genotypic variation in growth and nodulation by seedlings of *Acacia* species. Forest Ecology and Management, 55, 209-233.

TURK (D.), KEYSER (H.H.), 1992. — Rhizobia that nodulate tree legumes : specificity of the host for nodulation and effectiveness. Canadian Journal of Microbiology, 38, 451-460.

WANYANCHA (J.M.), MILLS (W.R.), GWAZE (D.P.), 1994. — Genetic variation in *Acacia albida* (*Faidherbia albida*) and its agroforestry potential in Zimbabwe. Forest Ecology and Management, 64, 127-134.

WITHINGTON (D.), 1986. — A request for information about pre-germination treatments for important NFT species. Nitrogen Fixing Tree Research Reports, 4 : 70-71.

Didier LESUEUR et Antoine GALIANA
B.S.F.T. (CIRAD-Forêt/ORSTOM)
BP 5035
34032 Montpellier CEDEX 1 (France).

Clément Forkong NJITI
IRA, BP 415
Garoua (Cameroun)

Mahamadi DIANDA
IRBET/CNRST
01 BP 1759
Ouagadougou (Burkina Faso)

Crédit photos A GALIANA, D. LESUEUR

RÉSUMÉ

Faidherbia albida, comme la majorité des Légumineuses, est associé à des rhizobiums, bactéries symbiotiques du sol, qui induisent la formation de nodules racinaires fixateurs d'azote atmosphérique. Cette aptitude à fixer l'azote permet à cette espèce de s'installer sur des sols pauvres déficients en azote combiné. Le spectre d'hôte de treize souches de rhizobium d'origines variées montre que *F. albida* est une plante-hôte non spécifique puisqu'elle nodule indifféremment avec des souches de *Rhizobium* et de *Bradyrhizobium*. Toutes les souches de *Bradyrhizobium* et de *Rhizobium* testées forment des nodules efficients chez *F. albida*, les plantes inoculées ayant un poids sec des parties aériennes 45 à 72 % supérieur, selon les souches, à celui des plantes-témoins non inoculées après deux mois de croissance des plantes en serre.

En ce qui concerne l'écophysiologie de la symbiose *F. albida*-rhizobium, nous avons vu qu'elle était naturellement adaptée aux sols acides et qu'elle n'était pas affectée par la présence de fortes concentrations d'aluminium dans la solution nutritive. En revanche, dans une solution dépourvue en fer, on constate une nette diminution de la nodulation et de la croissance de la plante-hôte. Ceci signifie que le fer est un oligoélément indispensable pour l'établissement et/ou le fonctionnement de cette symbiose. Par conséquent, *F. albida* reste une espèce assez facile à installer sur des zones où le pH du sol est acide mais, en revanche, dans des sols où le fer libre est limitant (sols calcaires ou sols alcalins), il est sans doute préférable d'utiliser des essences mieux adaptées.

Dans la pratique, on ne réalisera des inoculations artificielles en pépinière que lorsque la supériorité de la souche considérée aura été prouvée dans les conditions écologiques de la zone de plantation Dans les autres cas, on laissera les jeunes plants noduler spontanément avec des souches locales.

Mots-clés : *Faidherbia albida*. Symbiose. Fixation de l'azote. Rhizobium. Croissance. Nodosité racinaire.

ABSTRACT

Like most of *Leguminosae* species, *Faidherbia albida* is associated with rhizobia — symbiotic soil bacteria — which form nitrogen-fixing root nodules. This ability to fix atmospheric nitrogen enables this species to become established in soils that are poor in combined nitrogen. The host spectrum of 13 rhizobium strains of various origins shows that *F. albida* is a non-specific host plant, because it nodulates indiscriminately with *Rhizobium* and *Bradyrhizobium* strains. All the *Bradyrhizobium* and *Rhizobium* strains tested form efficient nodules on *F. albida*. Inoculated plants have a shoot dry weight that is 45-72 % higher, depending on the strains, than that of non-inoculated control plants after a two-month growing period under greenhouse conditions.

As far as the ecophysiology of the *F.albida*-rhizobium symbiosis is concerned, we have seen that it was naturally adapted to acid soils, and that it was not affected by the presence of high concentrations of aluminium in the nutritive solution. On the other hand, in an iron-free nutrient solution, we note a marked reduction of the nodulation and growth of the host plant. This means that iron is an essential micronutrient for the establishment and/or functioning of this symbiosis. As a result, *F. albida* is still a fairly easy species to establish in areas where the pH of the soil is acidic. Conversely, it is certainly preferable to use more appropriate species in iron-deficient soils (calcareous soils or alkaline soils)

Artificial inoculation in nurseries has to be carried out when the superiority of a strain has been proven in the ecological conditions of the planting area. In other cases, seedlings have to be left naturally nodulated with indigenous strains.

Key words : *Faidherbia albida*. Symbiosis. Nitrogen fixation. Rhizobium. Growth. Root nodules.

COMPARAISON DE PROVENANCES DE *FAIDHERBIA ALBIDA* EN PLANTATION AU BURKINA FASO

Taux de survie et vitesse de croissance juvénile dans les zones nord et sud-soudanienne

par Brigitte BASTIDE, généticien forestier, Ministère de la Coopération
et Boukari DIALLO, généticien forestier, IRBET/C.N.R.S.T.

Faidherbia albida adulte en fructification : c'est sur ce type d'arbre qu'ont été récoltées les semences des essais provenances.

Faidherbia albida est l'une des priorités parmi les espèces agroforestières au Burkina Faso où elle est prise en compte dans de nombreux programmes de reboisement. L'objectif des essais comparatifs de provenances est d'identifier les meilleures d'entre elles sur la base des critères de survie et de croissance juvénile *. En effet, en zone tropicale sèche où les jeunes plants sont sous la menace de la dent du bétail, l'adoption d'une espèce est souvent liée à sa vitesse de croissance : les jeunes plants ont besoin d'une bonne protection les premières années, d'où l'intérêt de sélectionner des provenances à croissance juvénile rapide afin de réduire les coûts de surveillance. Notre objectif pourra être atteint par l'étude de la différence de comportement de l'espèce dans des conditions écologiques locales en fonction de l'origine du matériel végétal.

Dès 1985, une stratégie d'amélioration a été élaborée à l'IRBET/C.T.F.T. de Ouagadougou (De FRAMOND, 1985).

Soixante-dix provenances de *Faidherbia albida*, issues de quatorze pays, ont été installées en deux temps :

• De 1985 à 1987, l'IRBET à travers les activités du Centre Technique Forestier Tropical a mis en place les premiers essais comparatifs de provenances (BILLAND, De FRAMOND, 1991). Le premier dispositif testait quatre provenances exotiques et trois provenances locales. Puis cette série s'est poursuivie jusqu'en 1988 par d'importantes introductions de lots de semences exotiques et de quelques provenances locales servant de témoins.

• En 1990, l'opportunité d'évaluer la provenance-témoin Kongoussi par rapport à d'autres provenances locales a conduit à mettre en place une importante collection de lots d'origine burkinabé.

• En 1991, la collection en place a été enrichie de dix nouvelles provenances grâce aux récoltes effectuées par le Danida Forest Seeds Center dans les pays anglophones.

Les résultats présentés ici se rapportent aux essais mis en place en 1985 et 1987. Seules les provenances communes aux deux sites d'étude, Gonsé et Dindéresso, seront considérées dans notre étude comparative.

* Ndlr. Comme on le verra dans le texte, il ne s'agit pas de sélectionner les provenances sur la croissance au tout début de la vie des arbres, car certaines espèces poussent très vite pendant deux ou trois ans, puis disparaissent ; il faut au contraire les tester sur une période d'au moins quatre ou cinq ans, voire une dizaine d'années (lire également l'article de J.-M. HARMAND *et al.* dans le même ouvrage).

MATÉRIELS ET MÉTHODES

SITES D'ÉTUDE

Les différents essais ont été installés sur deux stations réparties selon un gradient climatique Nord-Sud : Gonsé en climat nord-soudanien et Dindéresso en climat sud-soudanien. Le tableau I montre les caractéristiques de ces stations.

MATÉRIEL VÉGÉTAL

Les essais s'appuient sur les récoltes de graines effectuées par le C.T.F.T. de 1984 à 1987, en collaboration avec les Centres nationaux de semences forestières, dans une grande partie de l'aire naturelle de *Faidherbia albida*.

La liste des provenances comparées et les caractéristiques des sites de récolte sont données dans le tableau II (cf. p. 262).

• Production des plants en pépinière

Les graines sont prétraitées par trempage de 15 min. dans de l'acide sulfurique concentré à 66 % suivi d'un rinçage à l'eau courante, puis d'un séjour de 20 à 24 h dans de l'eau. Elles sont ensuite semées par deux dans des sachets en polyéthylène de 25 cm × 8 cm, renfermant un sol sablo-argileux ; un démariage intervient avant les plantations. Les apports d'eau se font manuellement deux fois par jour. Les plantules ne reçoivent ni traitement phytosanitaire, ni fertilisation ou inoculation.

• Plantation et entretiens

Les parcelles ont été défrichées et dessouchées manuellement. Les plantations ont eu lieu entre la première et la deuxième semaine de juillet. Une fois en plantation, les plants reçoivent exclusivement de l'eau de pluie.

TABLEAU I
Caractéristiques des sites d'étude
Les moyennes climatiques ont été obtenues sur une période de 10 ans (de 1971 à 1980)

	Dindéresso	Gonsé
Latitude	11°14'N	12°27'N
Longitude	4°26'W	1°19'W
Altitude	339 m	315 m
Pluviosité moyenne	949 mm	804 mm
Nombre moyen de mois pluvieux	5	4
Nombre moyen de jours de pluie	85	67
ETP/j. moyenne (juillet, août, septembre)	5,2-4,2 mm	5,4-5,2 mm
Température moyenne annuelle	27 °C	28 °C
Température maximale moyenne/an	33 °C	35 °C
Température minimale moyenne/an	21 °C	21 °C
Indice d'Aubreéville mois pluvieux intermédiaires mois secs	5 2 5	4 2 6
Sol	Ferralitique tropical Argilo-sableux, sans présence de dalle latéritique	Ferrugineux tropical Argilo-sableux, localement sur dalle latéritique indurée

TABLEAU II
Liste des provenances, caractéristiques de leurs sites d'origine

Pays	Provenance	Numéro	Longitude	Latitude	Altitude	Pluviosité
Burkina Faso	Kokologho Kongoussi Korsimoro	65 328 573,896 179	1°53′ W 1°60′ W 1°04′ W	12°11′ N 13°30′ N 12°49′ N	306 m — 313 m	826 mm 649 mm 601 mm
Burundi	Gihanga	3 447	29°15′ E	3°15′ S	800 m	649 mm
Cameroun	Adoumri/Bibémi	5 932	13°50′ E	9°16′ N	220 m	875 mm
Ethiopie	Wenji Sugar	6 403, 6 404	39°15′ E	8°26′ N	1 540 m	796 mm
Kenya	005K9 Kerio Valley Lodwar	— 007-011 6 402	— — 36°06′ E	— — 3°06′ N	— — 560 m	— 350 mm 190 mm
Niger	Kollo Tera	5 597 5 617	2°21′ E 0°45′ E	13°18′ N 14°00′ N	210 m 240 m	593 mm 458 mm
Sénégal	Bellokho Bignona Merina	6 237 4 373, 5 140 6 238	16°20′ W 16°25′ W 16°32′ W	14°42′ N 12°45′ N 15°06′ N	20 m 38 m 32 m	670 mm 1 170 mm 600 mm
Zimbabwe	Chipinda Pools Mana Pools	6 379 6 342	32°21′ E 29°20′ E	21°18′ S 18°44′ S	170 m 360 m	510 mm 730 mm

DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

A l'exception de celui mis en place en 1985 à Dindéresso, quatre Blocs Complets Randomisés (B.C.R.) de six provenances chacun, les essais comparatifs de provenances ont été mis en place sous la forme de dispositifs en Blocs Incomplets Equilibrés (B.I.E.) de quatre traitements permettant d'avoir quatre répétitions pour chacune des provenances. Le dispositif en B.I.E. convient mieux au milieu hétérogène car, pour un nombre de répétitions identique, la taille des blocs est plus petite que dans les B.C.R. Les effectifs de départ sont de 196 ou 200 individus par provenance. L'espacement entre les plants est de 4 m × 4 m mais prévoit une éclaircie systématique à 8 m × 8 m lorsque l'effet de concurrence se fait sentir.

Faidherbia albida est une espèce très importante au Burkina Faso : vue du parc agroforestier du pays Bwaba.

Les essais ont été sarclés manuellement sur les lignes trois fois l'année de plantation, puis une fois les deux années suivantes. Par ailleurs, l'interligne a été désherbé une fois par an à la fin de la saison des pluies mais n'a jamais été cultivé.

COLLECTE ET TRAITEMENT DES DONNÉES

Les mesures effectuées chaque année, entre décembre et mars, portent sur les taux de plants vivants (critère d'adaptation), sur la vigueur de croissance basée sur la hauteur totale (mesurée à l'aide de perches graduées par 5 cm) et sur les diamètres à la base des plants (en millimètres, mesurés au pied à coulisse 1/10). Chaque arbre est mesuré individuellement tous les ans.

Chaque essai fait l'objet d'une analyse de variance pour ces deux variables tous les ans. Les analyses sont réalisées par la méthode dite du « Modèle Linéaire

Généralisé ». Par la suite, chaque variable (hauteur, diamètre) fait l'objet d'une comparaison multiple des moyennes estimées des différentes provenances. Cette comparaison est effectuée à l'aide d'un test de Newman et Keuls au seuil de probabilité de 5 %.

Les analyses permettent d'évaluer les effets individuels, les effets blocs, les effets provenances et les interactions blocs × provenances (BILLAND, 1989).

L'évolution des taux de survie d'une année à l'autre est comparée sur les deux stations.

En ce qui concerne les paramètres de croissance, les essais ayant des âges différents (plantations de 1985 et 1987), les mesures prises en compte sont celles effectuées cinq ans et demie après la mise en place de chaque essai.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

TAUX DE SURVIE

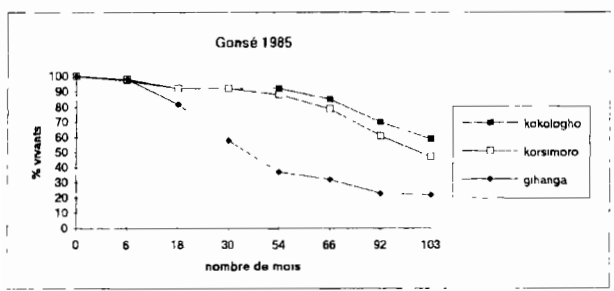
Le taux de survie permet d'apprécier l'adaptabilité des plantes d'une provenance aux conditions stationnelles. Les graphiques des figures 1 et 2 représentent son évolution pour chaque provenance depuis la mise en place des essais jusqu'à la dernière série de mesures (1994).

- **Une diminution progressive des taux de survie...**

Les taux de survie sur la station de Gonsé diminuent progressivement à partir de la deuxième année pour les provenances d'Afrique du l'Ouest et brutalement

FIGURE 1

Evolution des taux de survie pour les essais de 1985 à Gonsé et Dindéresso.



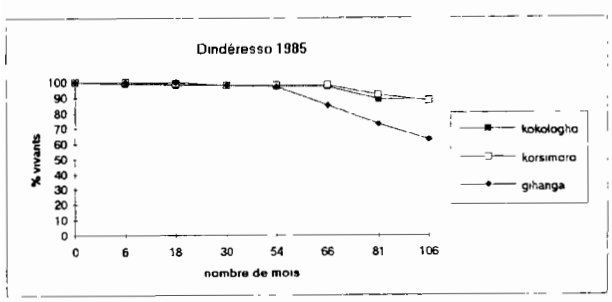
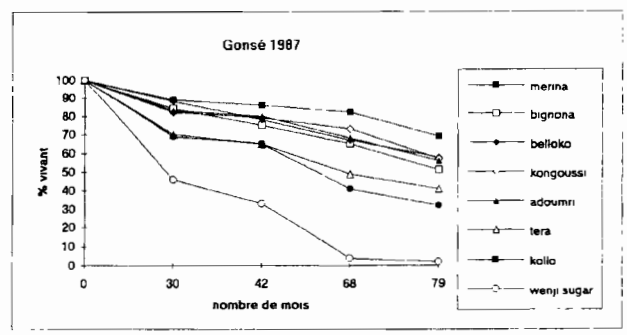
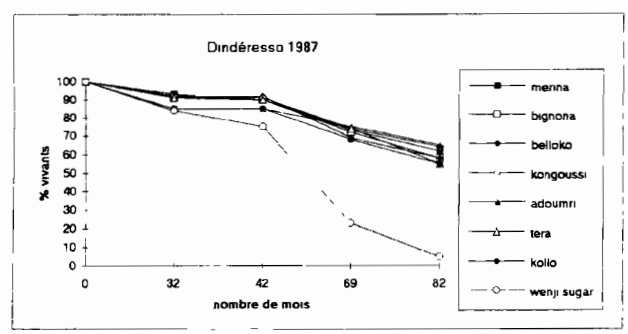


FIGURE 2

Evolution des taux de survie pour les essais de 1987 à Gonsé et Dindéresso.





dès la deuxième saison sèche pour les provenances du Burundi et d'Ethiopie. Cette chute se poursuit juqu'à cinq ans et demi (environ 66 mois) après la plantation, âge auquel le taux de survie semble se stabiliser pour les provenances d'Afrique orientale et continuer à baisser pour les autres.

- **...Qui restent plus élevés dans la zone la plus humide**

Sur la station de Dindéresso, les taux de survie diminuent aussi progressivement au cours du temps pour

les provenances d'Afrique de l'Ouest et d'Afrique centrale mais cette diminution est plus progressive que sur la station de Gonsé. On observe aucune différence de comportement entre ces différentes provenances.

Jusqu'à trente mois, les mortalités ne sont pas plus importantes pour les provenances d'Afrique de l'Est. La baisse de leurs taux de survie n'intervient que trois ans après la plantation. La chute semble cependant aussi importante que sur la station de Gonsé.

- **Les provenances d'Afrique de l'Ouest sont mieux adaptées que celles d'Afrique de l'Est**

L'observation des tableaux III et IV permet de dire que, malgré la provenance et l'année de plantation, les taux de survie à Dindéresso sont nettement supérieurs à ceux observés à Gonsé. Il est à remarquer toutefois que les résultats ont été meilleurs pour les essais de 1985. On y distingue deux groupes de provenances :

• Les provenances d'Afrique de l'Ouest (Sénégal, Burkina Faso, Niger) et du Centre (Cameroun) dont les

TABLEAU III
Taux de survie, moyennes des hauteurs et des diamètres à la base à Gonsé et à Dindéresso (provenances bistationnelles) mesurés 5 ans et demie après plantation - Essais de 1985

Pays	Provenance	Taux de survie		Hauteur (cm)				Diamètre à la base (mm)			
				Gonsé		Dindéresso		Gonsé		Dindéresso	
		Gonsé	Dindéresso	Moyenne	Coefficient de variation	Moyenne	Coefficient de variation	Moyenne	Coefficient de variation	Moyenne	Coefficient de variation
Burkina Faso	Kokologho	87,7 %	97,4 %	218	52 %	171	57 %	66,9	46 %	42	48 %
Burkina Faso	Korsimoro	78,6 %	98,0 %	235	46 %	160	61 %	72,2	44 %	40	52 %
Burundi	Gihanga	33,2 %	85,2 %	216	65 %	115	96 %	71,0	66 %	30	95 %

TABLEAU IV
Taux de survie, moyennes des hauteurs et des diamètres à la base à Gonsé et Dindéresso (provenances bistationnelles) mesurés 5 ans et demie après plantation - Essais de 1987

Pays	Provenance	Taux de survie		Hauteur (cm)				Diamètre à la base (mm)			
				Gonsé		Dindéresso		Gonsé		Dindéresso	
		Gonsé	Dindéresso	Moyenne	Coefficient de variation	Moyenne	Coefficient de variation	Moyenne	Coefficient de variation	Moyenne	Coefficient de variation
Sénégal	Merina	82,1 %	75,5 %	210	47 %	80	89 %	58	54 %	21	83 %
Sénégal	Bignona	65,3 %	72,0 %	210	48 %	103	89 %	52	62 %	25	80 %
Sénégal	Bellokho	67,3 %	69,0 %	190	51 %	135	80 %	47	62 %	30	73 %
Burkina Faso	Kongoussi	67,8 %	75,0 %	129	69 %	56	94 %	29	161 %	15	84 %
Niger	Kollo	41,3 %	68,5 %	135	68 %	54	91 %	25	83 %	14	85 %
Niger	Tera	49,0 %	74,0 %	98	75 %	38	98 %	20	86 %	10	99 %
Cameroun	Adoumri/ Bibemi	67,9 %	75,5 %	95	70 %	38	112%	20	97 %	10	129 %
Ethiopie	Wenji Sugar	4,1 %	23,0 %	76	119 %	35	84 %	13	140 %	9	81 %

taux de survie restent très élevés à Dindéresso et sont toujours satisfaisants cinq ans et demie après plantation sur la station de Gonsé, même s'ils décroissent régulièrement d'une année à l'autre. TORREKENS *et al.* (1992) ont également observé à Dosso, au Niger, des taux de survie de l'ordre de 50 % pour des provenances du Niger, du Mali et du Cameroun après six années de croissance.

• Les provenances d'Afrique de l'Est (Gihanga du Burundi et Wenji Sugar d'Ethiopie) dont les taux de survie sont faibles à Dindéresso et à Gonsé.

Pour ces provenances mises en place à Gonsé, BILLAND et De FRAMOND (1991) observaient qu'« après une phase de croissance performante surclassant les autres provenances en présence, une baisse du taux de survie se manifeste dès l'arrivée de la seconde saison sèche ». Ce phénomène s'est poursuivi et a été plus marqué pour la provenance d'Ethiopie. La provenance Gihanga du Burundi a mieux survécu.

Sur la station de Dindéresso, quelle que soit l'année de plantation, la provenance Gihanga a conservé un taux de survie voisin de celle d'Afrique de l'Ouest jusqu'à cinq ans et demie après plantation. La provenance Wenji Sugar d'Ethiopie présente par contre un très faible taux de survie.

Plusieurs tentatives d'explications des différences d'adaptation entre les provenances ont été faites :

La phase d'installation est très importante. La longue saison des pluies à Dindéresso (de mai à octobre) soumet moins longtemps les plants au stress hydrique qu'à Gonsé (saison sèche de juin à septembre). Cette meilleure répartition pluviométrique expliquerait le comportement des provenances du Burundi où il existe un climat à pluviosité bimodale (saison sèche de faible durée).

BILLAND et DIALLO (1991) ont observé en pépinière que les provenances extérieures au Burkina semblent particulièrement réceptives aux souches rhyzobiennes présentes spontanément dans le sol utilisé en pépinière. Le nombre de nodules au stade pépinière ne semble donc pas être un élément déterminant pour les capacités de survie des provenances.

Ayant effectué en 1989 (trois ans et demi après plantation) un suivi de la phénologie foliaire sur les provenances de l'essai de Gonsé 1985, ces même auteurs ont observé que les provenances locales ont un cycle de feuillaison plus court et se défeuillent plus rapidement que la provenance du Burundi.

VAN DEN BELDT (1991) a observé sur des plants mis au champs sur un sol très sableux, puis déterrés, un ratio de biomasse tige/racine favorable aux tiges pour les provenances d'Afrique australe et favorable aux racines pour les provenances d'Afrique de l'Ouest, ce qui peut expliquer la meilleure survie des provenances autochtones dans les zones soudano-sahéliennes. La forte mortalité observée à Gonsé, pour les provenances d'Afrique orientale et australe dès l'arrivée de la première saison sèche, pourrait être due au fait que leur racine principale n'aurait pas encore atteint un horizon du sol, humide en permanence *.

Les essais de Gonsé en décembre 89 (5e saison sèche après plantation).

* Ndlr. Une hypothèse à vérifier : les provenances d'Afrique de l'Est pourraient avoir un enracinement plus superficiel leur permettant de bien pousser au cours des premières années, en particulier en zone humide ; en revanche, les provenances sahéliennes installeraient tout d'abord un enracinement profond leur donnant l'avantage après avoir atteint la nappe phréatique.

De même, des travaux effectués par BILLAND et DIALLO en pépinière ont montré une différence de morphologie racinaire en fonction de la provenance des semences. Les provenances d'Afrique australe développent leur partie aérienne au détriment du système racinaire contrairement aux provenances d'Afrique de l'Ouest.

CROISSANCE

Les tableaux III et IV présentent les taux de survie, les moyennes des hauteurs et des diamètres à la base des différentes provenances, cinq ans et demie après plantation. Les cœfficients de variation (CV) sont également pris en compte. Ils reflètent la variabilité intraprovenance pour chacune des variables considérées : CV (%) = écart type × 100 /moyenne.

- **Les différences interprovenances évoluent au cours du temps**

Quelle que soit la provenance, les diamètres au collet et surtout les hauteurs sont beaucoup plus élevés à Gonsé qu'à Dindéresso avec une variabilité intraprovenance (reflétée par les CV) moins grande.

Lors des mesures effectuées à Gonsé les premières années après plantation, on n'observait pas de différence significative au seuil 5 % entre les provenances locales en ce qui concerne la vigueur de croissance. Mais des différences importantes étaient mises en évidence entre les provenances locales et étrangères. En particulier, la provenance Gihanga du Burundi dominait les autres à six mois. L'écart diminuait avec le temps pour devenir non significatif, puis s'inversait à 30 mois (BONKOUNGOU *et al.,* 1988).

A Dindéresso par contre, les différences restaient à l'avantage de la provenance du Burundi.

Il est intéressant de voir, dans les essais de 1985, que cinq ans et demi après plantation, les différences entre la provenance du Burundi et celles du Burkina Faso ne sont plus tranchées. Seule la provenance Korsimoro domine significativement en hauteur l'essai de Gonsé.

Les essais de 1987 sont dominés en hauteur sur les deux stations par les provenances du Sénégal. Les provenances Merina et Bignona, à croissance plus rapide que les autres, ne sont pas significativement différentes entre elles ; en revanche, elles le sont avec les autres.

La provenance Kollo du Niger a un comportement très voisin de la provenance-témoin Kongoussi. Les provenances Adoumri/Bibemi du Cameroun et Tera du Niger sont peu performantes sur les deux stations et ne présentent pas de différences significatives entre elles.

La provenance d'Ethiopie a non seulement des taux de survie très faibles, mais les individus présents sont inférieurs en taille à ceux des autres provenances sur les deux stations. Elle est donc totalement inadaptée aux conditions écologiques des deux stations.

- **La variabilité intraprovenance est élevée**

Hormis la variabilité interprovenances, on note, principalement à Dindéresso, une forte hétérogénéité intraprovenance reflétée par les cœfficients de variation CV (écart-type/moyenne). Les causes possibles ont fait l'objet d'une étude détaillée par BILLAND et De FRAMOND (1991).

Cette variabilité intraprovenance a motivé la mise en place des premiers essais de descendances en 1987 sur la station de Gonsé ; VAN DEN BELDT (1992) attribue une part très importante aux différences microstationnelles sur la croissance de *F. albida,* qui peuvent expliquer la grande variabilité intraprovenance observée.

CONCLUSION

Plusieurs années après plantation, les provenances montrent une très forte variabilité entre elles et peuvent se répartir selon les principaux groupes suivants :

- Les provenances les plus performantes qui, par leur vigueur de croissance et leur plasticité, dominent aussi bien à Gonsé qu'à Dindéresso. Elles ont une vigueur supérieure à celle des provenances locales.

Il s'agit des provenances Merina et Bignona du Sénégal.

- Les provenances qui dominent sur le site de Gonsé.

Ce sont principalement des provenances du Sahel (Burkina et Niger). Des provenances du Mali, non présentées ici, font également partie des provenances dominantes à Gonsé (BILLAND, De FRAMOND, 1991 ; BILLAND, DIALLO, 1991).

- Les provenances qui semblent présenter un intérêt limité au Burkina Faso, à cause de la médiocrité de leur croissance par rapport à celle des provenances locales, au moins dans leur plus jeune âge. On y trouve principalement les provenances d'Afrique australe et orientale. Ces provenances ont souvent une vigueur supé-

Aux alentours de dix ans, la cime de *Faidherbia albida* commence à s'étaler et l'arbre porte ses premières gousses (essais de Mouda, Cameroun en mars 95).

rieure à celle des provenances locales pendant les premières années mais, par la suite, leurs taux de survie diminuent considérablement (certaines sont absentes dès la deuxième année à Gonsé). Dominantes la première année, elles sont rattrapées, puis dominées par les provenances d'Afrique de l'Ouest. Comme HARMAND et NJITI (1992), nous en déduisons qu'elles ne sont pas adaptées aux conditions soudano-sahélienne.

Il est à remarquer que, si les taux de survie sont toujours plus élevés à Dindéresso qu'à Gonsé, la croissance est généralement beaucoup plus rapide et plus régulière au sein d'une même provenance, dans les conditions stationnelles de Gonsé qui reflètent plus l'aire naturelle de l'espèce.

Néanmoins, nous devons être prudents dans nos conclusions et sur les recommandations pour le développement. En effet, la stratégie d'étude de la variabilité de *Faidherbia albida* en station est, comme pour la plupart des ligneux, une stratégie à long terme. Ces premiers résultats obtenus au mieux cinq ans et demi après plantation nous donnent des indications sur le comportement de cette espèce dans son jeune âge uniquement. De plus, les caractères principaux que l'on cherchera à améliorer par la suite, comme la production foliaire et fruitière ou l'aspect fertilisant, ne peuvent être mesurés qu'à l'âge adulte.

Les provenances d'Afrique autrale et centrale, même si elles sont peu adaptées au stade juvénile, peuvent présenter d'autres qualités absentes ou médiocres chez les provenances locales. Il est donc important de constituer une population de base la plus diversifiée possible.

Ces raisons font qu'il est difficile actuellement de proposer une provenance plutôt qu'une autre aux organismes de reboisement qui attendent de *Faidherbia albida* des qualités qui ne s'expriment qu'à l'âge adulte. Les observations sur l'adaptabilité aux conditions de milieu (ou plutôt d'« inadaptabilité ») de certaines provenances exotiques seules peuvent guider le choix. De plus, de nombreuses provenances n'ont été mises en place que sur un seul des deux sites et nous ne disposons pour l'instant d'aucune information sur leur adaptabilité dans d'autres zones climatiques du Burkina Faso (zone est et surtout zone sahélienne). ■

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BILLAND (A.), De FRAMOND (H.), 1991 — Variabilité génétique d'*Acacia albida* (synonyme *Faidherbia albida*) en essais comparatifs de provenances au Burkina Faso. *In :* Physiologie des Arbres et Arbustes en zones arides et semi-arides. Paris, France, Groupe d'Etude sur l'Arbre, p. 235-248.

BILLAND (A.), DIALLO (B.O.), 1991. — Amélioration des ligneux soudano-sahéliens. Rapport d'activités 1990-1991, stratégies et perspectives. Ouagadougou, Burkina Faso, IRBET, 197 p.

BONKOUNGOU (E.G.), 1987. — Monographie de *Acacia albida* Del., espèce agroforestière à usages multiples. Ouagadougou, Burkina Faso, IRBET/C.N.R.S.T., 92 p.

BONKOUNGOU (E.G.), OUEDRAOGO (S.), DIANDA (M.), BILLAND (A.), 1988. — *Acacia albida* Del. en agroforesterie : stratégie d'amélioration du matériel végétal. Sci. et Techn. 18(2) : p. 41-72.

C.T.F.T., 1988. — *Faidherbia albida*. Monographie. Nogent-sur-Marne, France, C.T.F.T., 72 p.

De FRAMOND (H.), 1985. — Eléments de réflexion pour l'élaboration d'une stratégie nationale de sélection et d'amélioration génétique des arbres forestiers au Burkina Faso, note technique. Ouagadougou, Burkina Faso, IRBET/C.T.F.T., 13 p.

DIALLO (B.O.) ; BILLAND (A.), 1991. — Mesures de phénologie dans un essai comparatif de provenances de *Faidherbia albida* au Burkina Faso. *In :* Atelier international sur *Faidherbia albida* dans les régions tropicales semi-arides d'Afrique de l'Ouest, Niamey, Niger, 22 au 26 Avril 1991. Nairobi, Kenya, ICRAF.

HARMAND (J.M.), NJITI (C.F.), 1992. — *Faidherbia albida* in Northern Cameroon : provenances trials and crop association *In : Faidherbia albida* in the West African Semi-Arid Tropics-Proceedings of a Workshop, 22-26 Apr. 1991, Niamey, Niger. Nairobi, Kenya, ICRAF, p. 79-81.

TORREKENS (P.), LEMANE (I), GAMBO (S.), 1992. — Trial of nine *Acacia albida* provenances in Dosso, Niger. *In : Faidherbia albida* in the West African Semi-Arid Tropics. Proceedings of a Workshop, 22-26 Apr. Niamey, Niger. Nairobi, Kenya, ICRAF, p. 77-78.

VAN DEN BELDT (R.J.), 1991. — Rooting systems of western and southern African *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. (syn. *Acacia albida* Del.) — a comparative analysis with biogeographic implications. Agroforestry Systems 14. Nairobi, Kenya, ICRAF, p. 233-244.

VAN DEN BELDT (R.J.), 1992. — Problems with range-wide provenance trials of *Faidherbia albida* on sandy soils in Niger. *In : Faidherbia albida* in the West African Semi-Arid Tropics-Proceedings of a Workshop, 22-26 Apr.1991, Niamey, Niger. Nairobi, Kenya, ICRAF, p. 83-86.

Brigitte BASTIDE
Boukari DIALLO
IRBET/C.N.R.S.
01 BP 1759
Ouagadougou (Burkina Faso)

Credit photos R PELTIER

RÉSUMÉ

Onze provenances de *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. (syn. *Acacia albida* Del.), issues de six pays (Burkina Faso, Burundi, Cameroun, Ethiopie, Niger et Sénégal), mises en place en 1985 et 1987 à la fois sur les stations de Dindéresso (zone sud-soudanienne) et de Gonsé (zone nord-soudanienne), sont comparées cinq ans et demi après plantation.

Les taux de survie sont dans l'ensemble plus élevés à Dindéresso tandis que les arbres sont plus grands à Gonsé avec une variabilité intraprovenance plus faible.

Les provenances d'Afrique orientale et australe présentent de très fortes mortalités sur les deux stations.

Les provenances du Sénégal Merina et Bignona dominent les essais en hauteur et diamètre à la base.

Mot-clés : *Faidherbia albida*. Burkina Faso. Survie. Essai de provenances.

ABSTRACT

Eleven provenances of *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. (syn. *Acacia albida* Del.), from six countries (Burkina Faso, Burundi, Cameroon, Ethiopia, Niger and Senegal), simultaneously introduced in 1985 and 1987 at the Dindéresso (south Sudanian zone) and Gonsé (north Sudanian zone) stations, are compared 5 1/2 years after planting.

Survival rates, overall, are higher at Dindéresso, while the trees are larger at Gonsé, with a lower variability between provenances.

Seeds coming from eastern and southern Africa have very high mortality rates at both stations.

Seeds originating from Senegal (Merina and Bignona) are much better in the experiments in terms of height and base diameter.

Key words : *Faidherbia albida*. Burkina Faso. Survival. Provenance trials.

PLANTATIONS DE *FAIDHERBIA ALBIDA* AU NORD-CAMEROUN

Essais comparatifs de provenances et associations agroforestières

par Jean-Michel HARMAND, agroforestier, CIRAD-Forêt
Clément Forkong NJITI, agroforestier, IRA
David BRUGIERE, Nicolas JACOTOT, agroforestiers, Ministère de la Coopération
Régis PELTIER, agroforestier, CIRAD-Forêt

Dix années après la plantation, la croissance de *Faidherbia albida* est bonne mais l'effet sur la production des cultures n'est pas évident. Mouda, Cameroun, décembre 1993.

Le parc arboré à *Faidherbia albida*, dont le développement est lié à la fois aux activités d'agriculture et d'élevage, est présent au Nord-Cameroun, principalement sur les sols alluviaux au nord de Garoua (fig. 1, p. 271). Ce parc, régénéré par les populations dans leurs champs, est en extension dans de nombreux terroirs anciennement cultivés (plaines du Mayo Danaye, vallées du Diamaré et des monts Mandara). Cependant l'espèce est quasiment absente des terres plus récemment mises en valeur par l'agriculture au-dessus de l'isohyète 900 mm.

Les objectifs des essais mis en place au Nord-Cameroun sont multiples :

• comparer les performances de différentes provenances locales et introduites de *Faidherbia albida* à la fois en zone soudano-sahélienne (Mouda) et en zone soudano-guinéenne (Touboro) où l'espèce n'est pas encore présente ;

• apprécier la stratégie générale de croissance de l'espèce en plantation ;

• déterminer l'âge ou le stade de développement à partir duquel l'arbre a un effet sur la fertilité du sol et sur le rendement des cultures associées (Mouda) ;

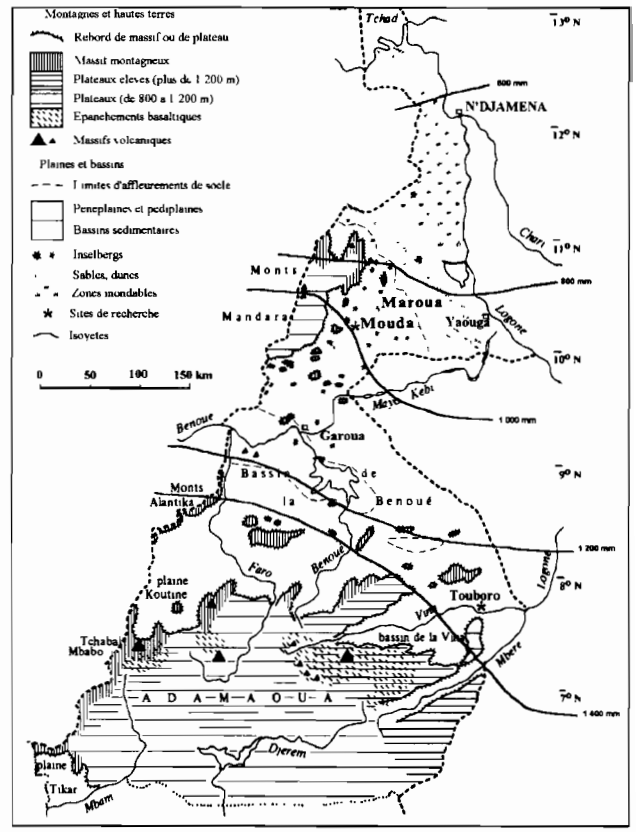
• identifier les contraintes de la mise en place et de la conduite d'une telle association, afin de proposer un itinéraire technique pour l'installation de parcs arborés à *Faidherbia albida* dans les terroirs cultivés (Mouda).

SITES EXPÉRIMENTAUX

Mouda est situé en zone soudano-sahélienne, à 40 km au sud de Maroua, à l'altitude de 500 m (cf. fig. 1). La pluviosité annuelle * est de 850 mm et l'évapotranspiration potentielle de 1 832 mm/an. Le sol ferrugineux, formé sur gneiss et quartzite, présente une charge caillouteuse importante et une carapace ancienne à faible profondeur ; d'une profondeur allant jusqu'à 1,70 m, il montre plusieurs horizons bien différenciés. La texture sablo-argileuse en surface devient par accumulation d'argile plus fine en profondeur. La réserve d'eau utile pour la végétation n'est pas très importante (35 à 50 mm/50 cm), la teneur en matière organique est faible, 1 à 2,5 % (BRABANT, 1968 ; PONTANIER *et al.,* 1988). Non cultivé, ce sol porte une belle savane arborée à *Anogeissus leiocarpus.* La charge en éléments grossiers, un drainage excessif et une grande sensibilité à l'érosion hydrique sont les principales contraintes de la mise en valeur de ce sol (PONTANIER *et al.,* 1988).

Touboro se trouve en zone soudano-guinéenne, à l'altitude de 500 m, la pluviosité annuelle est de 1 250 mm. Formé sur granite et gneiss, le sol ferrugineux de texture argilo-sableuse à argilo-limoneuse est peu à moyennement profond. De nature altéritique, ce sol, marqué par des engorgements de surface en saison des pluies, présente une dynamique latérale de l'eau. Par conséquent, la contrainte majeure de sa mise en valeur est sa grande sensibilité à l'érosion hydrique (BERTRAND, 1990). Enfin, ce sol présente des minéraux altérables à faible profondeur et les arbres sont susceptibles de remonter ces éléments nutritifs, d'où l'intérêt d'envisager le développement de parcs arborés dans les terres de culture.

FIGURE 1
Nord-Cameroun :
Localisation des principaux sites de recherche.
Fonds de carte d'après ROUPSARD, 1987.



MATÉRIELS ET MÉTHODES

DESCRIPTION DE L'ESSAI DE MOUDA

L'essai a été mis en place en juin 1985 après défrichement d'une savane arborée en bon état. Le dispositif, un split-plot à quatre répétitions, couvre une surface totale de 7 ha. Les facteurs étudiés (au nombre de 3) sont la plantation d'arbres, la culture associée et les provenances (PELTIER *et al.,* 1988).

Sur les parcelles boisées, les arbres sont plantés à 4 m × 4 m, en plein champ ainsi qu'en bordure. Les parcelles sont délimitées par des bandes d'arrêt enherbées de 4m de large jouant un rôle anti-érosif.

Le système de culture pratiqué est le système traditionnel correspondant à la rotation bisannuelle : coton en fumure vulgarisée (200 kg NPK 22.10.15 par ha) et sorgho « djigari » non fertilisé. Chaque culture est représentée chaque année.

Les sous-blocs correspondent aux provenances de *Faidherbia albida* (quatre locales et quatre introduites).

* La pluviosité actuelle est inférieure à celle indiquée sur la carte.

Le dispositif de Mouda cloisonné par des bandes anti-érosives. Au premier plan, deux parcelles sans arbres ; au second plan, on aperçoit les faidherbias alors âgés de cinq ans (octobre, 1990).

Les caractéristiques de ces provenances figurent dans le tableau I. Chaque sous-bloc mesure 20 m × 24 m. Au bout de chaque bloc se trouve une parcelle « témoin » cultivée non plantée de 38 m × 24 m.

Pendant les cinq premières années (1985-1989), des bandes d'un mètre de large, le long des lignes d'arbres, n'ont pas été cultivées pour faciliter la protection des jeunes plants, ce qui a entraîné une perte de surface cultivable de 25 %. Chaque année, des observations sont faites sur la production des cultures, la hauteur et le taux de survie des arbres.

DESCRIPTION DE L'ESSAI DE TOUBORO

L'essai mis en place en 1990 couvre une surface de 2 ha. Deux provenances locales et une provenance introduite sont placées en comparaison. Les caractéristiques des différentes provenances sont présentées dans le tableau II. Le dispositif est en blocs complets randomisés à quatre répétitions avec parcelles élémentaires de 84 plants installés à écartement de 4 m × 4 m. Chaque année, une culture intercalaire est pratiquée selon la rotation soja-maïs et des observations sont faites sur la hauteur et le taux de survie des arbres.

TABLEAU I
Caractéristiques des provenances de *Faidherbia albida* testées à Mouda au Cameroun de 1985 à 1994

Provenance	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Pluviométrie annuelle (mm)
Mokolo, Cameroun	13°48′ E	10°44′ N	600	900
Mokyo, Cameroun	14°16′ E	10°51′ N	440	700
Bogo, Cameroun	14°36′ E	10°44′ N	350	780
Ouagadougou, Burkina Faso	1°31′ W	12°21′ N	304	850
Keur Madiale, Sénégal	16°02′ W	15°44′ N	50	450
Gihanga Mpanda, Burundi	29°15′ E	3°15′ S	800	675
Mio-kolongotomo, Mali	5°48′ W	13°49′ N	280	650
Ngong, Cameroun	13°30′ E	9°02′ N	320	950

TABLEAU II
Caractéristiques des provenances de *Faidherbia albida* testées à Touboro au Cameroun de 1990 à 1994

Provenance	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Pluviométrie annuelle (mm)
Bignona, Sénégal	16°25′ W	12°45′ N	10	1 170
Adoumri-Bibémi, Cameroun	13°50′ E	9°16′ N	220	875
Maroua, Cameroun	14°18′ E	10°36′ N	400	780

RÉSULTATS ET DISCUSSION

CROISSANCE JUVÉNILE DE PROVENANCES DE *F. ALBIDA*

• Essai des provenances plantées à Mouda en 1985

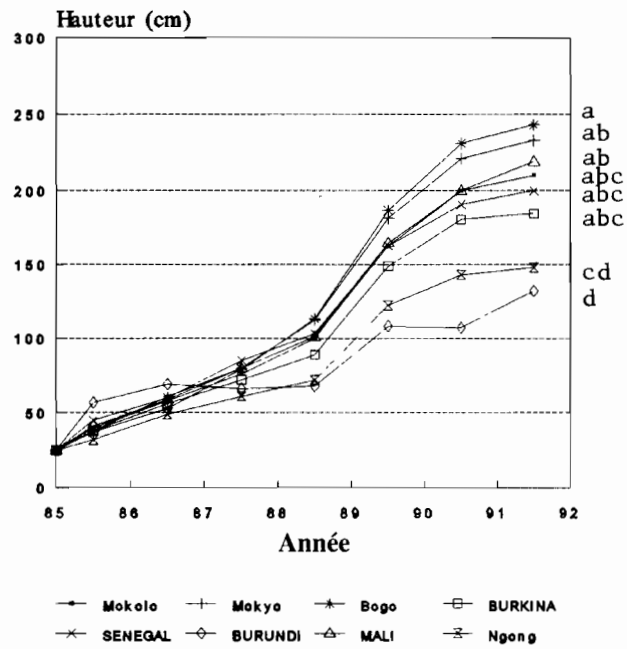
Les performances des différentes provenances sont présentées dans le tableau III et sur les figures 2 et 3.

Après une croissance initiale rapide, la provenance du Burundi présente dès 18 mois une forte mortalité et une croissance aléatoire, prouvant son inadaptation à la zone soudano-sahélienne. Le taux de survie diminue chaque année (29 % en 1990 au lieu de 83 % pour les sept autres provenances, puis 19 % en 1991). A 6,5 ans (décembre 1991), les six provenances locales et introduites d'origine soudano-sahélienne ont un meilleur développement que les deux provenances des régions plus humides : Ngong (Nord-Cameroun) et Burundi.

Ces résultats sont conformes aux résultats obtenus dans d'autres pays sahéliens comme le Burkina Faso (BILLAND *et al.*, 1990) et le Niger (VAN DEN BELDT, 1992). VAN DEN BELDT (1991) émet l'hypothèse que deux écotypes existent : un en Afrique australe et en Afrique de l'Est, qui serait à système racinaire traçant supposant des nappes perchées pour résister à la saison sèche, l'autre de zone soudano-sahélienne à système racinaire pivotant et qui, après sélection, pourrait s'adapter à des conditions de sécheresse saisonnière et aux plateaux à nappe profonde.

FIGURE 2

Hauteur des provenances de *Faidherbia albida* testées à Mouda au Cameroun de 1985 à 1991.
Source : PELTIER, 1988 ; HARMAND, 1989 ; BRUGIÈRE *et al.*, 1993.



Entre les six provenances de zone soudano-sahélienne, dont l'ordre décroissant des performances est le suivant : Bogo, Mokyo, Mokolo (Extrême-Nord Cameroun), Mali, Sénégal, Burkina, il n'apparaît pas de différence significative. Ce résultat est confirmé par la forte variabilité intraprovenance (CV = 16,8 %), presque aussi élevée que la variabilité interprovenances (CV = 19,7 %). En fait, cette forte variabilité de la

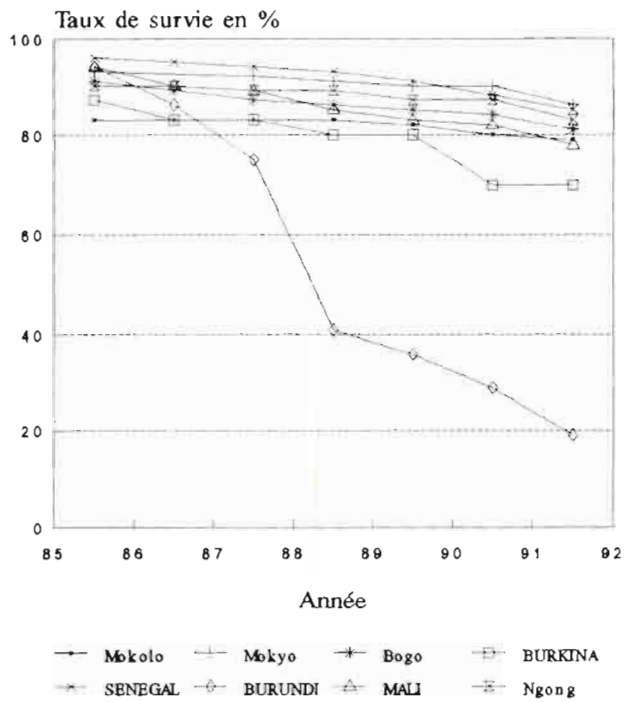
TABLEAU III
Hauteur (cm) des provenances de *Faidherbia albida* testées à Mouda au Cameroun de 1985 à 1991
Source : PELTIER, 1988 ; HARMAND, 1989 ; BRUGIÈRE*et al.*, 1993

Provenance	Année						
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Mokolo, Cameroun	40c	58	76	100ab	163ab	200ab	210abc
Mokyo, Cameroun	38c	61	80	112a	182a	221a	234ab
Bogo, Cameroun	37c	53	79	113ab	187a	231a	243a
Ouagadougou,Burkina	38c	56	72	89abc	149ab	181ab	186abc
Keur Madiale, Sénégal	45b	60	85	103ab	163ab	191ab	200abc
Gihanga Mpanda,Burundi	57a	69	66	68c	108c	107c	132d
Mio-kolongotomo, Mali	41c	59	80	101ab	165ab	200ab	220ab
Ngong, Cameroun	32d	49	61	72c	122bc	143bc	149cd
Moyenne	41	58	75	93	153	181	194

Les valeurs indexées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil d'erreur de 5 %.

FIGURE 3

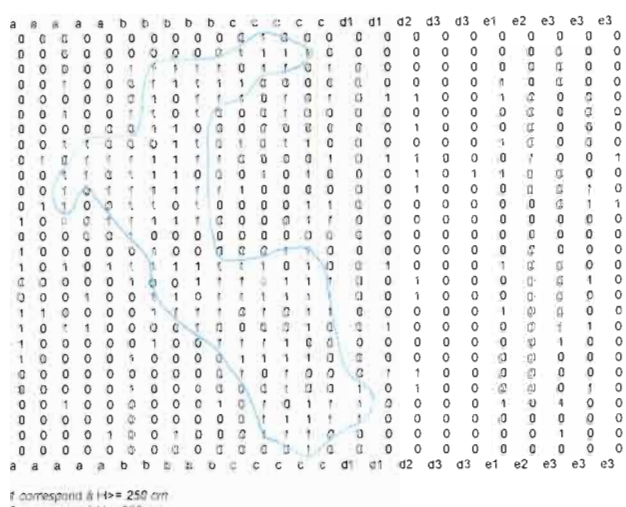
Taux de survie des provenances de *Faidherbia albida* testées à Mouda au Cameroun de 1985 à 1991.
Source : PELTIER, 1988 ; HARMAND, 1989 ; BRUGIÈRE *et al.*, 1993.



croissance en hauteur, à l'intérieur d'une même provenance, peut être influencée par la microvariabilité du sol. VAN DEN BELDT (1992) signale que l'hétérogénéité du sol affecte les résultats des essais provenances. A Mouda, les variations de profondeurs du sol et la présence de failles dans la dalle latéritique entraînent vraisemblablement une hétérogénéité spatiale de la croissance des arbres, indépendante du facteur provenance. La figure 4, présentant la cartographie des hauteurs du peuplement du bloc n° 1 en 1989, illustre cette hétérogénéité : les arbres de hauteur > 2,5 m forment une zone de forme mal définie qui recoupe plusieurs provenances. A ce sujet, on peut citer les résultats d'autres travaux (MANU *et al.*, 1990 ; GEIGER *et al.*, 1991) selon lesquels la variabilité du développement de *Faidherbia albida* correspond à la variabilité spatiale des propriétés physico-chimiques des sols.

FIGURE 4

Distribution des hauteurs des arbres à l'intérieur du bloc 1, 1989.
(les lignes a, b, c, d_1... correspondent à des provenances différentes)



Sur sol ferrugineux à carapace fissurée, la croissance de *Faidherbia albida* est très hétérogène mais certains individus peuvent approcher 10 m de hauteur à 10 ans. Mouda, Cameroun.

- **Essai des provenances plantées à Touboro en 1990**

Les performances des différentes provenances installées en 1990 à Touboro sont présentées dans le tableau IV et sur les figures 5 et 6.

On observe un bien meilleur démarrage en plantation de la provenance de zone soudano-guinéenne (Bignona au Sénégal) par rapport aux provenances locales plus septentrionales de Maroua et d'Adoumri. Par ailleurs, une provenance du sud du Tchad (Koumra) introduite à Touboro en milieu paysan, sans avoir fait l'objet d'essai préalable, a montré également un bien meilleur développement que la provenance camerounaise d'Adoumri (cf. tableau

TABLEAU IV
Hauteur (cm) des provenances de *Faidherbia albida* testées à Touboro au Cameroun de 1990 à 1994
Source : HARMAND *et al.*, 1992 et 1993

Provenance	Année				
	1990	1991	1992	1993	1994
Bignona, Sénégal	26a	43a (5)	66	95a (21)	112a (28)
Adoumri-Bibémi, Cameroun	18b	24b (5)	—	39b (12)	46b (12)
Maroua, Cameroun	16b	22b (2)	—	29b (7)	34b (7)

1 Les valeurs indexées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil d'erreur de 5 %.
2. Les chiffres entre parenthèses correspondent à l'erreur standard de la valeur du dessus.

FIGURE 5
Hauteur des provenances de *Faidherbia albida* à Touboro au Cameroun de 1990 à 1994.
Source : HARMAND *et al.*, 1992 et 1993.

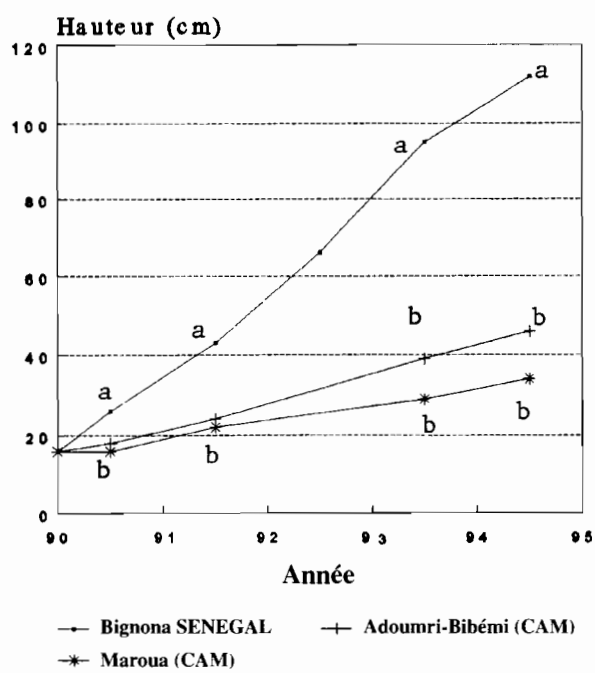


FIGURE 6
Taux de survie des provenances de *Faidherbia albida* testées à Touboro au Cameroun de 1990 à 1994.
Source : HARMAND *et al.*, 1992 et 1993.

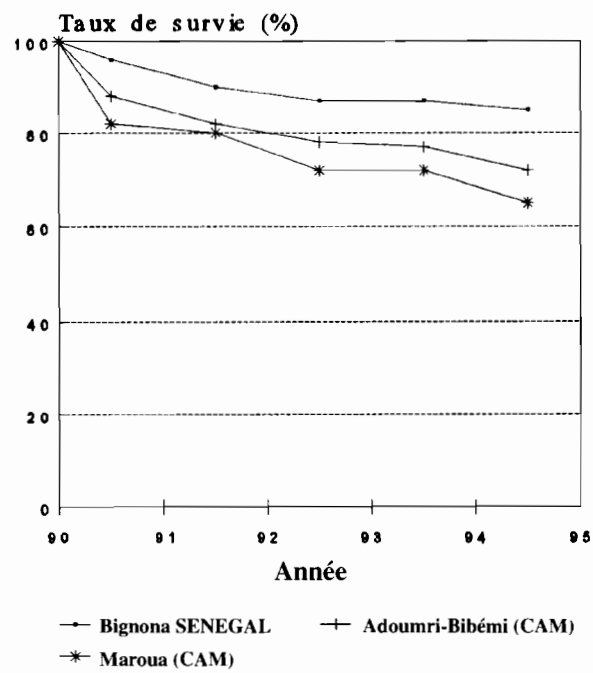


TABLEAU V
Performances de provenances de *Faidherbia albida* plantées en milieu paysan à Touboro au Cameroun de 1991 à 1992
Source : HARMAND *et al.*, 1993

Provenance	2e année de végétation	
	Hauteur (cm)	Taux de survie (%)
Adoumri-Bibémi, Cameroun	30 (10)	22 % (7)
Koumra, Tchad (1 050 mm/an)	60 (9)	58 % (20)

Les chiffres entre parenthèses représentent l'erreur standard de la valeur de gauche.

V). On peut en conclure que les provenances étrangères de zone soudano-guinéenne constituent le meilleur choix pour le reboisement en zone soudano-guinéenne du Cameroun. On recommande actuellement d'utiliser des graines du sud du Tchad (région voisine du Cameroun) pour les nouvelles plantations de *Faidherbia albida* dans la zone de Touboro.

ASPECTS GÉNÉRAUX DE LA CROISSANCE INITIALE DE *F. ALBIDA*

- **Comparaison avec divers acacias sahéliens**

La comparaison des courbes de croissance de *Faidherbia albida* avec celles des acacias locaux plantés sur le même site met en évidence des stratégies de croissance très différentes des deux groupes d'espèces (fig. 7 et 8). L'accroissement en hauteur des acacias est très important en 1re et 2e année et diminue fortement à partir de la 3e année. En revanche, *Faidherbia albida* démarre très lentement et sa croissance s'accélère seulement à partir de la 4è saison de végétation, moment correspondant certainement à l'accès du pivot racinaire à des réserves hydriques en profondeur. La hauteur dominante du peuplement (hauteur des cents plus grands arbres à

FIGURE 7
Hauteur moyenne de différents acacias locaux et de *Faidherbia albida* à Mouda de 1985 à 1993.

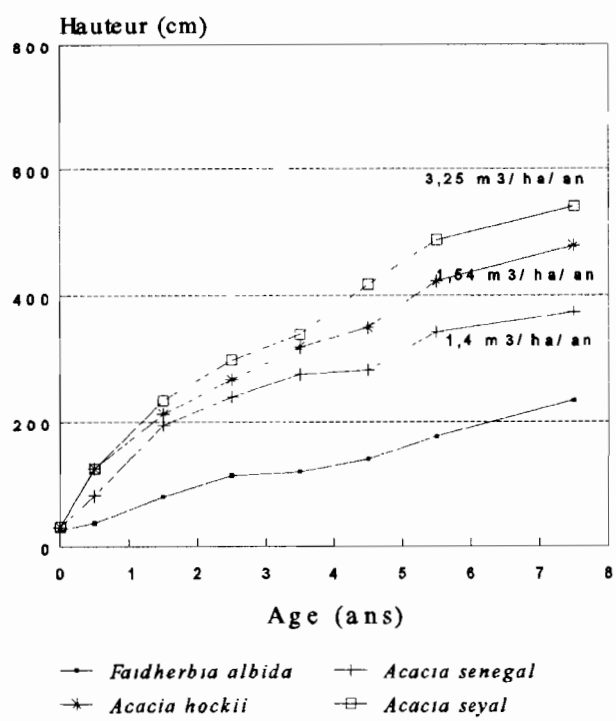
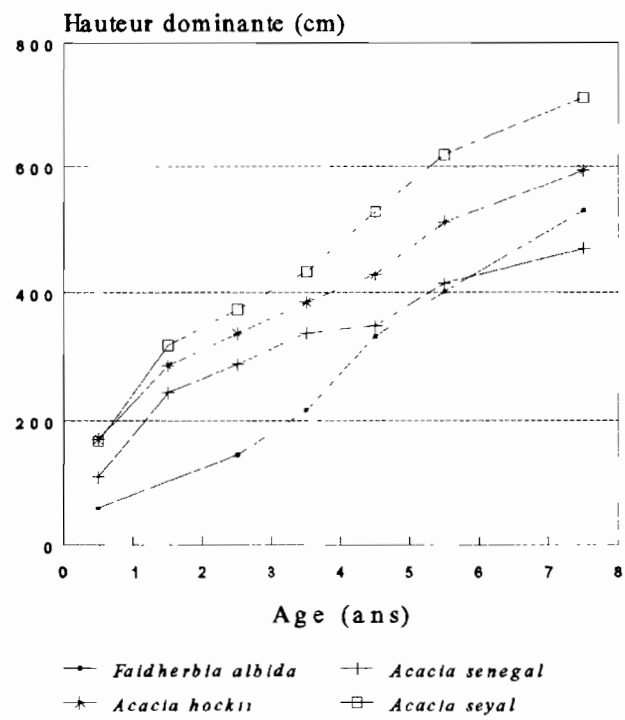


FIGURE 8
Hauteurs dominantes de différents acacias locaux et de *Faidherbia albida* à Mouda de 1985 à 1993.



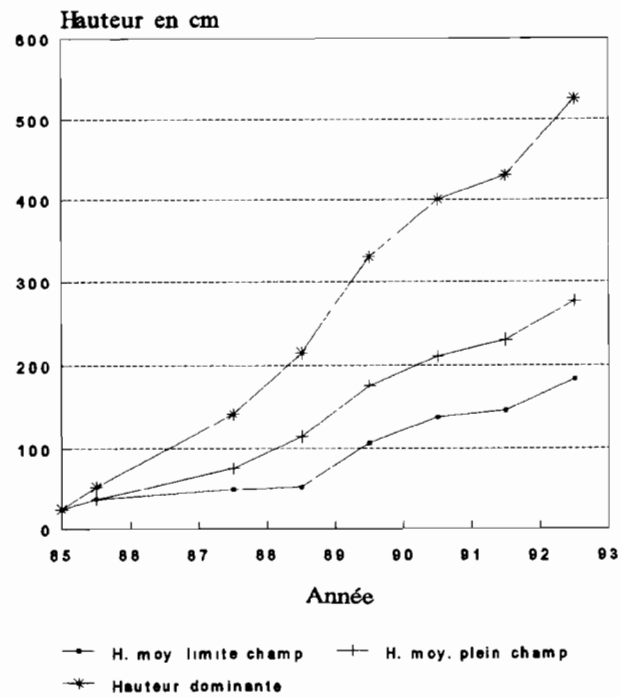
l'hectare) rejoint celle des acacias locaux (*Acacia senegal*, puis *Acacia hockii*) à partir de la 5e année. Jusqu'à la 9e année, la croissance de *Faidherbia albida* ne fléchit pas, contrairement à celles des acacias locaux.

Cette stratégie de croissance de *Faidherbia albida* suppose de la part des paysans des précautions particulières vis-à-vis des jeunes arbres durant les trois premières années. En effet, l'expérience montre que les jeunes plants sont souvent détruits lors des labours et sarclages mécaniques successifs. Cette destruction intervient dès la 2è année par manque de motivation des paysans au vu des faibles performances de l'espèce. Après trois ans, la hauteur dominante est de 1,5 m et, à ce stade de développement, on peut considérer que les cents plus grands arbres à l'hectare qui constituent le peuplement d'avenir ne pourront plus être détruits par les opérations culturales.

En 199l, l'écart entre hauteur moyenne et hauteur dominante est beaucoup plus important chez *Faidherbia albida* (3,6m) que chez les acacias locaux (1,6 m), ce qui confirme la forte variabilité individuelle de *Faidherbia albida* avec un cœfficient de variation de 69 % au lieu de 22 % pour *Acacia senegal*.

FIGURE 9

Hauteur de différentes sous-populations de *Faidherbia albida* de l'essai de Mouda au Cameroun de 1987 à 1990.
Source : PELTIER, 1988 ; HARMAND, 1989 ; HARMAND et NJITI, 1990.



- **Concurrence des herbacées**

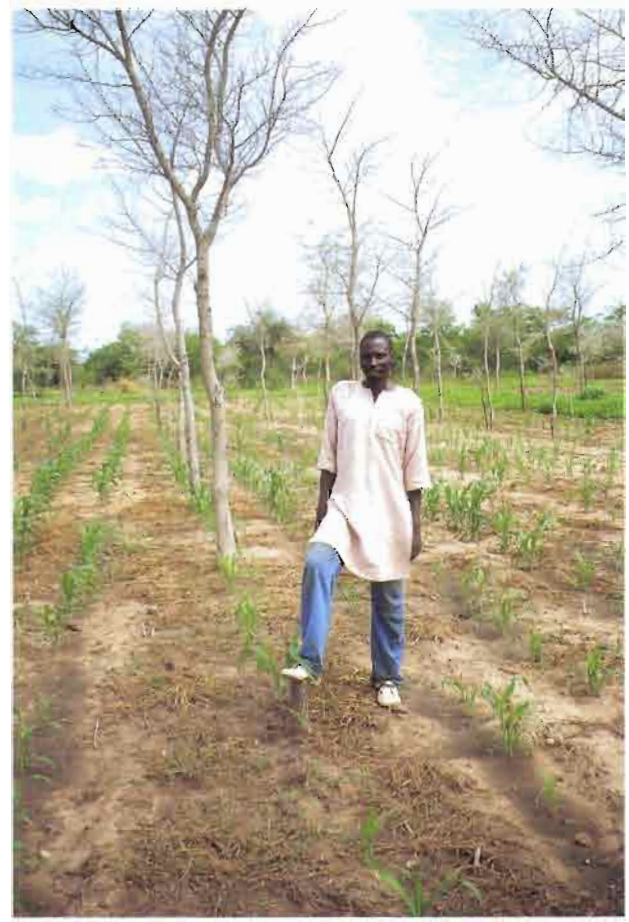
Par ailleurs, le tableau VI et la figure 9 montrent que les arbres plantés en limite de bande anti-érosive présentent une plus faible croissance (– 36 %) et un moins bon taux de survie (– 16 %) que ceux situés en plein champ. En effet, malgré un désherbage manuel réalisé tous les ans autour de ces plants de bordure, ceux-ci souffrent de la concurrence de la végétation herbacée, ce qui explique le mauvais développement de l'espèce dans le milieu naturel. A ce sujet, il faut souligner que l'on rencontre très peu de *Faidherbia albida* en savane boisée, même au voisinage des terres de cultures où il se trouve en abondance, preuve supplémentaire du caractère antropophyle de l'espèce.

Par conséquent, notre préoccupation de garantir la réussite de la plantation de *Faidherbia albida* nous

TABLEAU VI
Hauteur (cm) de différentes sous-populations de *Faidherbia albida* de l'essai de Mouda au Cameroun de 1987 à 1990
Source : PELTIER, 1988 ; HARMAND, 1989 ; HARMAND et NJITI, 1990

Variables	Année			
	1987	1988	1989	1990
Hauteur dominante, ensemble de l'essai	145	217	332	402
Hauteur moyenne, ensemble de l'essai	75	93	153	181
Hauteur moyenne des arbres de bordure	75	63	110	142
Hauteur moyenne en plein champ	80	116	180	216

Les arbres situés le long des bandes anti-érosives souffrent de la concurrence et subissent les dégâts du feu.
Mouda, Cameroun.



Association sorgho-faidherbia : en culture attelée, il est possible de cultiver sur la ligne de plantation des arbres.
Mouda, Cameroun, juillet 1993.

conduit à préconiser son installation uniquement en plein champ. La plantation en limite de bande anti-érosive est à déconseiller d'autant plus que les passages des feux courants y sont inévitables. Les paysans les pratiquent volontairement pour limiter les nuisances procurées par les ravageurs des cultures (rats, mulots) et les serpents qui se réfugient dans ces bandes.

PRODUCTION DES CULTURES ASSOCIÉES ESSAI DE MOUDA EN 1985

Les résultats de production des cultures sont présentés dans les tableaux VII et VIII et dans les figures 10 et 11.

Jusqu'en 1989, un labour au tracteur équipé de cover-crop était effectué dans l'interligne ; des bandes d'un mètre de large au niveau des lignes d'arbres n'étaient pas cultivées pour éviter la destruction des jeunes plants. Cette perte de surface cultivable de 25 % dans les parcelles plantées explique les baisses significatives de production agricole (écart de 25 % à 30 % par rapport au témoin).

En 1990, chaque paysan a été doté d'un équipement de culture attelée, d'une charrue bovine, et a réalisé le labour en plein ; néanmoins, il subsiste dans les parcelles plantées une baisse de rendement en coton, cette fois non significative, de – 3 % à – 13 % pour le coton et de – 10 % à – 33 % pour le sorgho.

Par ailleurs, des observations ont été faites en 1994 sur des microparcelles permanentes (4 m × 4 m). Leur nombre est de 5 par parcelle, soit 20 par traitement. Ces observations contredisent les résultats précédents : on constate que le rendement des microparcelles sous *Faidherbia albida* est supérieur au rendement témoin (+ 3 % pour le coton et + 20 % pour le sorgho). Les diffé-

TABLEAU VII
Rendement de la culture de coton (t/ha de coton graine) de l'essai de Mouda au Cameroun de 1990 à 1994

Traitement	Année				
	1990	1991	1992	1993	1994
Culture associée aux faidherbias	0,98	1,00	0,89	1,15	1,61
Culture sans faidherbia	1,11	1,12	1,03	1,22	1,66
Variation de rendement : « effet faidherbia »	– 11 % ns	– 11 % ns	– 13 % ns	– 6 % ns	– 3 % ns

ns signifie que la différence de rendement n'est pas significative au seuil d'erreur de 5 %.

TABLEAU VIII
Rendement de la culture de sorgho « djigari » (t/ha de sorgho grain) de l'essai de Mouda au Cameroun de 1991 à 1994

Traitement	Année			
	1991	1992	1993	1994
Culture associée aux faidherbias	0,93	1,10	0,88	1,48
Culture sans faidherbia	1,03	1,34	1,10	2,21
Variation de rendement : « effet faidherbia »	– 10 % ns	– 18 % ns	– 20 % ns	– 33 % ns

ns signifie que la différence de rendement n'est pas significative au seuil d'erreur de 5 %.

FIGURE 10
Rendement de la culture de coton (t/ha de coton graine) de l'essai de Mouda au Cameroun de 1985 à 1994.

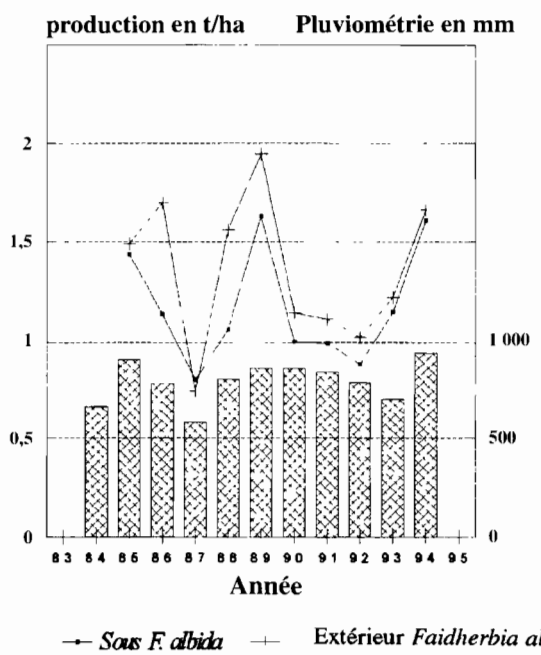
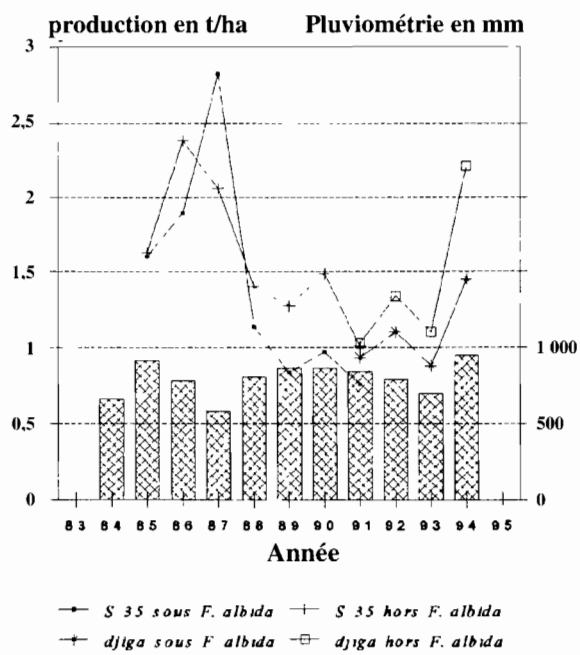


FIGURE 11
Rendement de la culture de sorgho (t/ha de sorgho grain) de l'essai de Mouda au Cameroun de 1985 à 1994.



rences ne sont toutefois pas significatives. Le choix des parcelles a été fondé sur la présence d'arbres de taille suffisante pouvant influencer la culture associée.

Or, on ne peut pas admettre un éventuel effet arbre car on peut supposer, comme on l'a déjà constaté ailleurs (GEIGER *et al.*, 1991), que *l'arbre* se développe bien là où il existe également un bon développement de la culture, lieu correspondant à une zone de bonne fertilité. Néanmoins, le fait de constater un meilleur rendement au voisinage des plus grands arbres peut laisser supposer que les arbres ne gênent pas la culture malgré la forte densité du peuplement à dix ans (500/ha). Le changement d'échelle d'observations (passage de la parcelle à la microparcelle) pose le problème de l'appréciation de la variabilité spatiale afin de disposer de la même variabilité dans le témoin et la plantation (utilisation d'une culture test et analyse de sols avant la plantation). L'estimation *a posteriori* de la variabilité initiale s'avère en général impossible et sa non connaissance empêche l'interprétation des résultats.

Par conséquent, une étude en mode synchrone sur ces microparcelles permanentes n'est pas envisageable car la comparaison porte sur des ensembles d'objets n'ayant pas forcément la même variabilité initiale des propriétés physico-chimiques des sols. L'intérêt de ces microparcelles permanentes est bien entendu leur suivi dans le temps pour mettre en évidence un « effet arbre » à moyen terme.

Actuellement, l'absence d'effet peut s'expliquer par le stade de développement de l'arbre à dix ans : sa cime étroite ne couvre pas le sol et les quantités de litière qu'il peut restituer sont certainement trop faibles pour améliorer signicativement la fertilité et le rendement des cultures.

Récolte des tiges sur une parcelle où le coton a été associé au faidherbia.
Mouda, Cameroun, décembre 1993.

CONCLUSION

Il ressort des essais provenances de *Faidherbia albida* que les provenances de l'hémisphère austral (Burundi) ne sont pas adaptées aux conditions soudano-sahéliennes. La variabilité intraprovenance importante, certainement influencée par la microvariabilité du sol, ne permet pas de mettre en évidence de différence entre six provenances de zone soudano-sahélienne mises en comparaison dans un site présentant 850 mm de pluie par an. Les provenances soudano-sahéliennes et en particulier celles du Cameroun, constituent le meilleur choix pour le reboisement en zone soudano-sahélienne du pays. En revanche, pour la zone soudano-guinéenne du Cameroun où l'espèce n'est pas encore présente à l'état spontané, le choix de provenances étrangères de la même zone écologique (sud du Tchad, sud du Sénégal) est largement préférable à l'utilisation des provenances camerounaises septentrionales.

A Mouda, la croissance très rapide de la strate dominante du peuplement de *Faidherbia albida* entre la 4^{e} et la 9^{e} année (80 cm/an) indique la bonne capacité de l'espèce à s'installer sur plateau ferrugineux avec dalle latéritique fissurée et nappe phréatique très profonde.

La stratégie particulière de croissance de l'espèce (démarrage lent, puis accélération à partir de la 4^{e} année) constitue une entrave à l'installation de parcs arborés en milieu paysan. En effet, le faible développe-

ment initial des plants dissuade le plus souvent l'agriculteur de les entretenir comme il devrait durant les trois premières années, ce qui conduit en général à l'échec de la plantation.

L'effet de l'arbre sur le rendement des cultures associées se fait attendre longtemps ; ainsi dix ans après la plantation, le peuplement, dont la hauteur dominante est de 6 m, ne montre pas encore d'influence sur le comportement des cultures.

Concernant les conseils à apporter au développement, on peut préconiser la plantation de *Faidherbia albida* dans les terroirs de culture selon des lignes installées en plein champ et espacées au moins de 10 m pour ne pas trop gêner les opérations culturales. Les arbres peuvent être plantés tous les 4 m sur la ligne (250 plants/ha), afin d'obtenir une densité finale suffisante. Les plantations en limite de champ ne sont pas à promouvoir, car elles présentent un risque important d'échec. ■

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BILLAND (A.), DE FRAMOND (H.), 1990. — Variabilité génétique d'*Acacia albida* (synonyme *Faidherbia albida*) en essais comparatifs de provenances au Burkina Faso. *In :* Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides. RIEDACKER A., DREYER E., PAFADNAM C., JOLY H., BORY G. (eds.), Nancy, France.

BOUKAR (S.), DONFACK (P.), FLORET (C.), PONTANIER (R.), SEGHIERI (J.) THEBE, 1988. — Utilisation et conservation des ressources en sol et en eau (Nord-Cameroun). Paris, France, Mésires, Cameroun, ORSTOM, CNRS, 232 p.

BRABANT (P.), 1988. — Sols ferrugineux et sols apparentés du Nord-Cameroun. Aspects de leur pédogénèse, Paris, France, ORSTOM, 42 p.

BRUGIERE (D.), HARMAND (J.M.), KUIPER (L. & W.), LIBERT (C.), NTOUPKA (M.), 1993. — Résultats des essais forestiers et agroforestiers au Nord-Cameroun, année 92-93, tome 2. Maroua, Cameroun, Institut de la Recherche Agronomique, 175 p.

CENTRE TECHNIQUE FORESTIER TROPICAL, 1988. — *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev.(Synonyme *Acacia albida* Del.), monographie. Nogent-sur-Marne, France, C.T.F.T., 72 p.

GEIGER (S.C.), MANU (A.), 1991. — Relationships between soil surface characteristics and millet (*Pennisetum glaucum* (L) R.Br.) growth in the plateau and valley region of Western Niger, Tropsoils technical report. College Station, Texas, USA, Department of Soil and Crop Sciences. Texas A&M University.

GEIGER (S.C.), VAN DEN BELDT (R.J.), MANU (A.), 1992. — Preexisting Soil Fertility and the Variable Growth of *Faidherbia albida*. *In : Faidherbia albida* in the West African semi-arid tropics : proceedings of a workshop, 22-26 Apr.1991, Niamey, Niger (VAN DEN BELDT R.J., ed.). Nairobi, Kenya,ICRISAT, ICRAF, p. 121-125.

HARMAND (J.M.), 1989. — Résultats des essais sylvicoles de l'Antenne CRF/IRA de Maroua. Maroua, Cameroun, Institut de la Recherche Agronomique, 170 p.

HARMAND (J.M.), NJITI (C.F.), LIAGRE (F.), 1992. — Résultats des essais forestiers et agroforestiers au Nord-Cameroun, année 91-92, tome 1. Maroua, Cameroun, Institut de la Recherche Agronomique, 68 p.

HARMAND (J.M.), NJITI (C.F.), 1992. — *Faidherbia albida* in northern Cameroon : Provenance Trials and Crop Associations. *In : Faidherbia albida* in the West African semi-arid tropics : proceedings of a workshop, 22-26 Apr. 1991, Niamey, Niger (VAN DEN BELDT, R.J., ed.). Nairobi, Kenya, ICRISAT, ICRAF, p. 79-81.

HARMAND (J.M.), NJITI (C.F.), LIBERT (C.), 1993. — Résultats des essais forestiers et agroforestiers au Nord-Cameroun, année 92-93, tome 1. Maroua, Cameroun, IRA, 80 p.

MANU (A.), GEIGER (S.C.), BERRADA (A.), SCOTT-WENDT (J.W.), 1990. — Microvariabilité dans le Sahel : Un aperçu général. *In :* Actes du séminaire sur l'aménagement des sols, la conservation de l'eau et la fertilisation, 20-24 fév. 1989 Tahoua, Niger. Niamey, Niger, INRAN, p. 117-128.

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

PELTIER (R.), 1988. — Résultats des essais sylvicoles de l'Antenne CRF/IRA de Maroua. Maroua, Cameroun, IRA, 240 p.

VAN DEN BELDT (R.J.), 1991. — Rooting systems of western African *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. (syn. *Acacia albida* Del.) — a comparative analysis with biogeographic implications. Agroforestry Systems 14. Nairobi, Kenya, ICRAF, p. 233-244.

VAN DEN BELDT (R.J.), 1992. — Problems with Range-Wide Provenance Trials of *Faidherbia albida* on Sandy Soils in Niger. *In : Faidherbia albida* in the West African semi-arid tropics : proceedings of a workshop, 22-26 Apr. 1991, Niamey, Niger (VAN DEN BELDT, R.J., ed.). Nairobi, Kenya, ICRISAT, ICRAF, pp. 83-86.

J.-M. HARMAND
Antenne forestière IRA-C.R.F.
BP 222 Maroua (Cameroun)

C.F. NJITI
IRA
BP 415 Garoua (Cameroun)

D. BRUGIERE
Station de recherche de la Makandé
BP 69 Libreville (Gabon)

R. PELTIER
CIRAD-Forêt
BP 5035
34032 Montpellier CEDEX 1 (France)

Crédit photos R PELTIER

RÉSUMÉ

Cet article présente les résultats d'essais en cours au Nord-Cameroun sur *Faidherbia albida*. Plusieurs aspects sont étudiés concernant cette espèce : la stratégie de croissance en plantation, le comportement de diverses provenances, l'association avec un système de culture. La stratégie de croissance de *Faidherbia albida*, en particulier son démarrage lent, constitue une entrave à l'installation de parcs arborés en milieu paysan. En effet, au cours des trois premières années, les plants doivent faire l'objet d'attention afin d'éviter leur destruction par les opérations culturales. Après cette période, on peut considérer que le parc arboré s'est installé ; on constate même que la croissance des arbres dominants s'accélère et que l'espèce s'adapte bien, sous 850 mm de pluviométrie annuelle, aux plateaux ferrugineux avec dalle latéritique fissurée et nappe phréatique très profonde.

Sur le même site, dix ans après la plantation, on ne perçoit pas encore l'influence de *Faidherbia albida* sur le comportement des cultures associées. Les provenances soudano-sahéliennes, en particulier celles du Cameroun, constituent le meilleur choix pour le reboisement en zone soudano-sahélienne du pays. En revanche, pour la zone soudano-guinéenne où l'espèce n'est pas encore présente à l'état spontané, le choix de provenances étrangères mais de la même zone écologique (sud du Tchad, sud du Sénégal) est largement préférable à l'utilisation des provenances camerounaises septentrionales. Parmi les autres recommandations au développement, les auteurs préconisent la constitution de parcs arborés à *Faidherbia albida* uniquement dans les terroirs de culture continue, sous forme de plantation en lignes installées exclusivement en plein champ. Un espacement de 10 m entre les lignes est proposé afin de ne pas gêner les opérations culturales mécanisées.

Mots-clés : Cameroun. *Faidherbia albida*. Croissance. Plantations forestières. Essais provenances. Agroforesterie.

ABSTRACT

This article describes the results of tests under way in northern Cameroon on *Faidherbia albida*. Several aspects concerning this species were examined : growth strategy in plantations, behaviour of various provenances, and association with a crop system. The growth strategy of *Faidherbia albida*, and in particular its slow early stages, constitutes an obstacle to the installation of parklands in farming systems. In fact during the first three years, the seedlings must be closely attended to, to avoid their destruction by farming activities. After this period, the parkland can be regarded as established. It has even been observed that the growth of dominant trees speeds up and that the species adapts well, with 850 mm of annual rainfall, to the ferruginous plateaus with fissured laterite slabs and very deep ground water.

On the same site, ten years after planting, one still does not notice the influence of *Faidherbia albida* on the behaviour of associated crops. Seeds of Sudano-Sahelian origin, particularly those from Cameroon, represent the best choice for reforestation in the Sudano-Sahelian area of the country. Conversely, for the Sudano-Guinean zone, where the species is not yet present in the spontaneous state, the choice of provenances from the same ecological zone (southern Chad, southern Senegal) is broadly preferable to the use of seeds from northern Cameroon. Among the other recommendations for development, the authors propose the formation of *Faidherbia albida* parklands solely in lands that are continuously farmed in the form of plantations in lines. A spacing of 10 m between lines is suggested so as not to get in the way of mechanized farming activities.

Key words : Cameroon. *Faidherbia albida*. Growth. Forest plantation. Provenance trials. Agroforestry.

PROTECTION DE LA RÉGÉNÉRATION NATURELLE DE *FAIDHERBIA ALBIDA*

Evaluation *a posteriori* du projet Gao Dosso au Niger

par Pierre MONTAGNE, agroforestier, CIRAD-Forêt/Projet Energie II

Sélection et élagage de brins de faidherbia pendant la saison sèche dans un champ de sorgho.

Cet article présente les objectifs, la stratégie et la méthodologie du « Projet Forestier Gao * », qui s'est déroulé dans le département de Dosso au Niger de 1981 à 1985.

Ce Projet rentrait dans le cadre des actions réalisées suite à la grande sécheresse des années 1973-1974 et avait pour objectif principal d'aborder les problèmes d'une façon novatrice, en limitant notamment les plantations souvent très coûteuses. Il s'agissait de protéger et de favoriser la régénération naturelle des jeunes arbres présents dans les champs de culture des paysans.

Il faut noter que cette action ne s'est pas, par la suite, limitée au seul département de Dosso et que l'ensemble du pays a été, à des degrés divers, touché par de telles actions qui ont concerné pratiquement toutes les essences présentes dans les champs : Combrétacées, *Prosopis africana, Parkia biglobosa, Sclerocarya birrea* et bien sûr *Faidherbia albida.*

* Gao est le nom Sonraï, Djerma et Haoussa de *Faidherbia albida ;* le nom abrégé du Projet est « Gao Dosso ».

1. LES RÉALISATIONS DU PROJET GAO DOSSO DE 1981 à 1985

LE DÉPARTEMENT DE DOSSO

■ Agriculture et population

Le département de Dosso forme la partie la plus méridionale du Niger (cf. carte ci-contre). Il est ceinturé, dans les parties ouest et est, par deux vallées sèches appelées « dallols » (respectivement Bosso et Maouri).

Ces dallols sont caractérisés par des sols sableux (dunaires) et argileux (bas-fonds) ainsi que par la faible profondeur de la nappe phréatique. Les paysans y pratiquent des cultures pluviales traditionnelles (mil, sorgho, niébé) mais aussi de la canne à sucre ou des cultures maraîchères.

Les terrains cultivables couvrent 32 % de la surface totale du département (soit environ 1 000 000 ha) et sont intensément utilisés par une population relativement importante (densité moyenne de 24 habitants/km^2 avec des concentrations de 40 à 60 habitants/km^2 dans les dallols). En raison de la non utilisation d'intrants de fertilisation (engrais ou fumier) et de la réduction extrême des temps de jachère, ces sols sont appauvris en éléments minéraux et en matière organique.

Cette dégradation de la fertilité des sols a été perçue depuis longtemps ; c'est pourquoi plusieurs projets de développement rural se sont succédés dans la région depuis une vingtaine d'années dans le but d'intensifier l'agriculture, ceci avec des succès très inégaux. La plupart du temps, les paysans en sont restés aux techniques culturales traditionnelles.

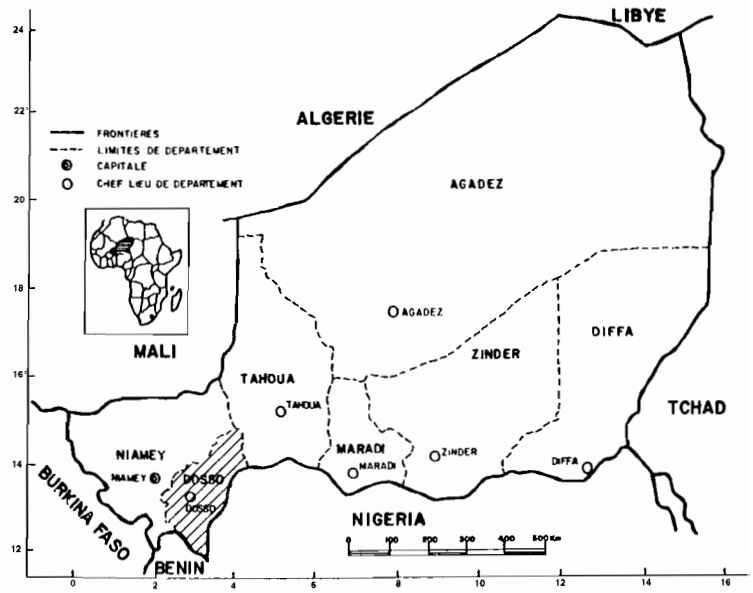
La baisse des rendements, liée à la surexploitation des terres mais aussi à une pluviométrie irrégulière, a entraîné une diminution des revenus agricoles qui est en partie compensée par l'exode rural : c'est ainsi qu'en saison sèche, le Dallol Bosso est vide de sa population masculine en âge adulte.

■ Pluviométrie

La pluviométrie varie de 350 mm pour les années les moins pluvieuses à 800 mm. La moyenne de ces quinze dernières année se situe aux environs de 500 mm.

■ Perception paysanne de *Faidherbia albida*

Nous ne reviendrons pas ici sur les avantages de *Faidherbia albida,* largement développés dans les autres articles de cet ouvrage, mais nous avons estimé intéressant de reprendre les principaux avantages mis en avant par les agriculteurs au cours des discussions informelles menées par les agents du Projet.



Localisation de la zone concernée par le Projet forestier Gao Dosso.

Les paysans signalent que la production en mil sous *Faidherbia albida* est toujours supérieure à la production hors houppier ; plusieurs agriculteurs déclarent : « Dans les champs où se trouvent des faidherbias, la production de mil est deux fois supérieure à celle des parcelles sans arbres ! ». Dans certains cas, les paysans profitent de la présence des faidherbias dans leurs champs pour mettre en place tabac et sorgho qui sont des cultures plus rémunératrices que le mil (région de Madaroumfa). Cette amélioration de la fertilité des sols sous *Faidherbia albida* se traduit non seulement par des augmentations de rendement significatives mais aussi par des possibilités de culture sans jachères (en particulier dans la région de Matameye).

Les paysans ajoutent aussi : « Avoir des gaos dans les champs hérités est une chance » ; « Dans le Dallol Maouri, le gao est le seul héritage que puisse laisser un paysan à ses enfants », « Donner un gao, c'est donner du mil et non un sac vide », etc.

Un agriculteur a associé dans son champ du pois de terre et du sorgho mais ce dernier, plus exigeant, n'a prospéré que sous le houppier du vieux faidherbia.

Ce semis de faidherbia a déjà été coupé plusieurs fois par la houe ou la dent du bétail mais il a survécu. Son pivot racinaire a pris un développement en épaisseur plus important que la tige.

Pour les éleveurs aussi, l'utilisation du faidherbia est bien connue. Les gousses semblent être l'apport fourrager principal, mais le feuillage n'est pas dépourvu non plus d'intérêt et les pasteurs émondent d'ailleurs souvent le gao pour nourrir leur bétail. D'après certains d'entre eux, une densité moyenne d'arbres (environ vingt faidherbias par hectare) permettrait de multiplier par trois le nombre d'animaux par unité de surface. L'utilisation de ce fourrage aérien par les éleveurs transhumants et par les agropasteurs sédentaires entraîne souvent un émondage excessif des arbres qui peut causer la mort de certains d'entre eux, réduire la production de graines et diminuer très certainement le potentiel de régénération naturelle du parc.

MISE EN ŒUVRE DU PROJET GAO DOSSO VOLET RÉGÉNÉRATION NATURELLE

■ Des méthodes basées sur des observations très simples

- **En saison sèche, le bétail broute les jeunes faidherbias mais la plupart survivent**

Les animaux domestiques sont friands des jeunes gaos qu'ils broutent jusqu'au niveau du collet ; ils peuvent parfois en arracher la racine, ce qui entraîne la mort du jeune pied. Mais, le plus souvent, la racine n'est pas arrachée si bien que les jeunes arbres peuvent être broutés et sectionnés plusieurs saisons de suite ; la racine se développe alors « presque » normalement tandis que seules des tiges de faible diamètre représentent la partie aérienne.

- **Il est d'ailleurs presque impossible de protéger les arbres contre le bétail**

D'emblée, les responsables du Projet ont choisi d'ignorer le facteur de destruction dû aux animaux : il était difficile de mettre des gardiens puisque l'opération devait faire participer au maximum les populations, et les paysans ne pouvaient pas être toujours dans leurs champs pour des missions de surveillance.

- **En saison des pluies, les pratiques culturales coupent également les semis et les rejets**

Après avoir été broutés en saison sèche par la dent du bétail, les rejets issus des souches de faidherbia

sont, le plus souvent, à nouveau coupés lors des travaux agricoles de saison des pluies. Avec sa hilaire (outil utilisé dans les sols sableux du Niger), le paysan sectionne les jeunes brins lors des préparatifs des champs et lors des sarclages. Cette destruction se fait par inadvertance parce que, lors de ces sarclages, les jeunes gaos sont cachés dans le mil.

- **L'agriculteur peut réduire les dégâts qu'il cause aux jeunes arbres**

Le Projet avait pour but de sensibiliser les paysans à repérer, surveiller et élever les jeunes arbres issus de la régénération naturelle, notamment pendant la saison sèche et lors des sarclages agricoles de saison des pluies.

Une action en direction des éleveurs aurait aussi été nécessaire, notamment par rapport à l'exploitation du pâturage aérien mais restait financièrement hors de portée du Projet.

■ Nécessité de prendre le relais des projets de plantations et des protections autoritaires

- **Les projets de plantation, trop coûteux, furent progressivement abandonnés**

C'est en 1973-74 qu'eut lieu la première action concernant *Faidherbia albida* dans le département de Dosso. Un projet sur financement de l'Aide Américaine (USAID) avait organisé la plantation d'environ 1 000 ha de cette essence dans l'arrondissement de Dogon Doutchi. L'organisation fut des plus classique et donna des résultats très variables au vu des moyens qui avaient été engagés *.

En 1975, furent rédigés des termes de référence d'un projet basé sur la plantation de 14 300 ha de *Faidherbia albida*, qui allaient en fait dans le sens de la continuité des actions du projet USAID. Cependant, on s'aperçut progressivement que ces plantations coûtaient cher pour un résultat relativement médiocre.

- **Il s'avéra plus efficace de protéger la régénération naturelle**

Ce projet de plantation fut ainsi modifié en une opération de protection de la régénération naturelle des jeunes gaos. En effet, bien que les *Faidherbia albida* soient moins nombreux dans le département de Dosso que dans l'est du Niger (département de Zinder), on avait pu remarquer qu'ils étaient en extension et que cette progression pouvait être accélérée. L'idée retenue fut donc de mobiliser les paysans par une intense action d'information et de sensibilisation à l'intérêt qu'ils auraient à protéger la régénération de gaos dans leurs champs.

Ce projet financé par le Fonds d'Aide et de Coopération, avec un budget relativement limité de 100 millions de F CFA sur cinq ans, devait favoriser la reconstitution du parc à gao sur une surface de 7 500 ha.

Ce type d'opération était une première au Niger en terme de projet bien que les agriculteurs connaissent l'intérêt de l'espèce et que certains d'entre eux aient eu l'habitude de conserver quelques pieds dans la régénération.

- **Autrefois certains chefs traditionnels imposaient la protection des gaos**

Dans l'est du Niger, on cite souvent le cas du Sultan de Zinder qui, d'après certaines légendes, « coupait la tête à celui qui abattait un arbre et le bras à celui qui l'élaguait » ; quelle que soit la réalité historique, il reste dans cette zone un riche parc à faidherbia ; le parc du « triangle 3 M », (Matameye, Mirriah et Magaria) est aussi célèbre. A Tibiri, chef lieu de canton dans l'arrondissement de Dogon-Doutchi, aire d'influence du Projet, l'action répressive du précédent chef de canton avait fait passer le parc de gaos d'une densité très faible à cinq plants adultes par hectare, en une trentaine d'années.

■ Choix des zones et des villages d'intervention du projet Gao Dosso

- **Des terroirs où existaient déjà des parcs à faidherbia**

Le choix des zones d'intervention dans les deux arrondissements de Birni Ngaouré à l'ouest du département (zone écologique du Dallol Bosso) et de Dogon Doutchi à l'est (zone du Dallol Maouri) visaient donc essentiellement à renforcer l'importance du parc et, surtout pour les cantons du Dallol Bosso, à le rajeunir.

Un inventaire de départ avait montré que, dans l'ensemble des deux dallols, la densité était de 5,5 arbres adultes à l'hectare, dont 2,8 gaos, auxquels il fallait rajouter 2,6 jeunes arbres/ha (de hauteur comprise entre 2 et 10 m), dont 2,1 gaos. La régénération naturelle se situait aux environs de 40 pieds/ha.

Ne furent retenues que des zones où l'on trouvait déjà des grands semenciers et qui présentaient surtout des caractères écologiques favorables (profondeur modérée de la nappe phréatique, sol épais et de texture assez légère...).

* Cf. article de VAN DEN BELDT.

94 villages furent donc touchés en trois ans : 61 dans le Dallol Maouri et 33 dans le Dallol Bosso ; ils représentaient respectivement 25 et 10 % du nombre total de villages de chaque arrondissement. Chaque village avait sensiblement la même importance (de 600 à 900 habitants).

- **Des villages volontaires ou recommandés par l'autorité coutumière**

Le choix de ces villages fut délicat notamment pour évaluer la « motivation » des paysans, notion des plus subjectives et pour laquelle nombre de sociologues avait mené des études spécifiques aux résultats souvent peu utilisables de façon opérationnelle. Le Projet ne disposait d'aucun moyen pour réaliser des enquêtes sociologiques ; le choix s'est donc porté sur des villages volontaires ou recommandés par l'autorité coutumière (chef de canton). Le plus souvent, l'action de sensibilisation s'est faite avec l'appui de cette autorité.

Le facteur humain ne fut donc que très peu pris en considération dans le choix définitif. Les explications fournies aux villageois, en début d'intervention, ne pouvaient suffire pour leur faire appréhender la réalité du travail demandé, celle-ci ne pouvant être comprise qu'au moment de l'exécution elle-même. Tout dépendait donc de l'animation qui pouvait être faite auprès de ces paysans.

« Mobiliser les paysans à la protection des jeunes gaos », tel était le mot d'ordre au début de la mise en œuvre de ce Projet en 1981 ; on trouvera ci-dessous le détail de l'organisation.

■ Le travail de vulgarisation du projet Gao

- **Rédaction d'un manuel de sensibilisation**

L'équipe chargée de l'exécution du Projet (deux responsables opérationnels de terrain, un agent technique, trois aides-encadreurs et deux manœuvres de pépinières) a mis tout d'abord au point un manuel présentant d'une manière simple les différents avantages du gao et le travail demandé.

Les principaux éléments de ce manuel sont donnés au tableau I.

- **Une présence constante des encadreurs de base**

Avec le recul du temps, on peut dire que les « aides-encadreurs de base » de l'opération (recrutés dans les villages parmi des personnes relativement âgées de 40-50 ans, donc reconnues) ont été l'élément moteur de toutes les actions de par leur présence constante sur le terrain. Leur mission était de sillonner continuellement leur territoire d'intervention pour mobiliser les paysans à l'action de préservation et de protection des jeunes plants. Ils étaient équipés de chevaux achetés et entretenus par le Projet.

- **Un repérage des faidherbias à l'aide de piquets**

Le travail demandé aux paysans était donc simple : il s'agissait de repérer les jeunes plants de *Faidherbia albida* de plus d'un mètre de hauteur poussant dans leurs champs à l'aide d'un piquet traité contre les termites et marqué à la peinture (le Projet fournissait la peinture).

Ce travail se faisait au cours de la préparation des champs avant le début de la saison des pluies. Par la suite, il permettait aux paysans de bien voir les jeunes rejets et plants de gaos parmi les pieds de mil au cours des différentes phases des travaux champêtres et donc d'éviter de les couper.

- **Les agents de l'administration furent associés au Projet**

Notons que l'équipe technique du Projet s'appuyait également sur les agents du Service des Eaux et Forêts des arrondissements touchés. Cette politique d'association de l'administration avait pour objectif de préparer un éventuel « après-projet » sans qu'une équipe spécialisée s'en occupe : il était donc important que ces forestiers soient parfaitement au courant du déroulement des activités.

Les « aides-encadreurs » du Projet sillonnaient à cheval le territoire d'intervention.

TABLEAU I
Plan du manuel de vulgarisation du Projet Gao Dosso

1. Forêts et gaos

Que sait-on sur le gao et sur les autres arbres du milieu rural ?

- Problèmes généraux liés à la dégradation de l'environnement
  - augmentation des populations humaines et animales
  - augmentation des besoins en bois
  - diminution des surfaces forestières
  - augmentation des phénomènes d'érosion
  - perte de la couche fertile du sol
  - baisse des rendements céréaliers
- Intérêt des gaos
  - pour l'agriculteur
    - maintien de la fertilité des terres de culture
      - protection des sols contre l'érosion
      - possibilité de suppression des jachères
    - amélioration sensible des rendements (× 2,5)
    - possibilité d'associer étroitement l'agriculture et l'élevage
    - possibilité de pâturage aérien de qualité
      - mais il faut faire attention à l'émondage
    - possibilité de faire de l'embouche avec les gousses
  - pour l'éleveur
- Quelles sont les causes de la destruction des jeunes gaos ?
  - les animaux en saison sèche
  - les agriculteurs lors de la préparation des champs
  - les agriculteurs en saison des pluies (sarclages)
  - les enfants
- Qui peut aider le gao pour son développement ?
  - l'agriculteur qui le protège des mauvaises herbes
  - l'éleveur qui, par le passage de ses animaux, facilite la germination des graines

2. Le Projet Gao

Quelles peuvent-être ses réalisations en milieu rural ?

- Régénération naturelle
  - Le repérage et l'entretien des jeunes plants
    - collecte des piquets
    - peinture sur ces piquets
    - taille (élevage plants)
    - les plants les plus grands sont attachés
  - travail non rémunéré mais encouragé par l'attribution d'une prime
  - les gaos repérés resteront leur propriété (modification des règles foncières)
  - suivi des opérations par des agriculteurs reconnus
- Plantations - Pépinières, etc.

- **Une modeste prime dont le versement était étalé sur trois ans**

Pour encourager les paysans au repérage, le Projet leur octroyait une prime de 50 F CFA par arbre, répartie sur trois ans (30 + 10 + 10) *. Ces primes étaient versées en fin de campagne agricole au cours des mois d'octobre et de novembre, sur la base des déclarations de repérage que faisaient les paysans.

Une équipe du Projet procédait à des contrôles dans un certain nombre de champs (moins d'une centaine par an) pour apprécier les densités réelles en jeunes faidherbias et en faire la comparaison avec les déclarations des paysans.

Cette dynamique de suivi par les aides-encadreurs a été un facteur très important de diffusion et de compréhension du message technique, au demeurant très simple, par les populations.

PRINCIPAUX RÉSULTATS TECHNIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES OBTENUS PAR LE PROJET GAO DOSSO EN 1985

■ Données fournies par les paysans

- **Un demi-million d'arbres repérés sur quinze mille hectares**

Entre 1981 et 1984, près de 3 500 exploitants ont participé à l'opération et ont déclaré avoir repéré plus de 500 000 plants de *Faidherbia albida.*

Il faut noter que la mortalité des arbres, dans l'année suivant le repérage, a été évaluée à 10 % par le Projet. Si l'on se réfère aux surfaces moyennes des parcelles, on peut estimer que 15 000 ha furent touchés dans l'ensemble des deux arrondissements, ce qui est considérable si l'on rapporte ce résultat aux moyens dont disposait ce Projet. Aux 5 gaos/ha (jeunes et vieux) trouvés par l'inventaire initial, le Projet avait donc fait ajouter près de 30 jeunes faidherbias/ha.

■ Données recueillies lors des sondages de densité

L'importante participation populaire à l'opération et la faiblesse des moyens, notamment humains, du Projet ne permettait pas de contrôler tous les plants que les paysans avaient déclarés « repérés ».

Des sondages succincts ont donc permis de faire une vérification à partir d'un échantillon limité à quelques dizaines de champs. La surface des champs était mesurée par l'équipe technique qui procédait ensuite au comptage des jeunes plants.

Les résultats synthétiques de ces sondages sont donnés au tableau II.

Les surfaces contrôlées par l'équipe du Projet étaient infimes par rapport aux surfaces évaluées d'après les déclarations des paysans. Le tableau II montre néanmoins que les chiffres de densité des déclarations étaient inférieurs à ceux qui avaient été contrôlés.

Ces résultats étaient ceux de l'année suivant le repérage ; ils avaient pour but de vérifier les dires des paysans mais ils ne sont certainement pas valables deux, trois ou quatre ans après le premier repérage. Cependant, d'autres sondages réalisés en 1984 sur des plants repérés en 1981 ont confirmé que la densité de jeunes faidherbias, de hauteur supérieure à 50 cm, était passée de 4,1/ha à 25,3/ha.

* Au taux de change de l'époque, cette prime représentait les versements successifs de soixante, vingt et vingt centimes français.

TABLEAU II
Résultats des contrôles de repérage des faidherbias par le projet Gao Dosso

Année	Surface contrôlée (ha)	Régénération naturelle repérée et contrôlée (nombre de plants)					Déclaration de repérage pour versement de la prime*
		H < 10 cm	10 < H < 50 cm	H > 50 cm	Total	Densité/ha	
1982	134	569	620	848	2 037	15,2	11,6
1983	258	I 739	4 245	3 750	9 734	37,7	22,6
1984	272	2 019	4 767	6 893	13 680	50,3	27,9

H : Hauteur des arbres repérés et contrôlés.
* Densité/ha.

2. ÉVALUATION *A POSTERIORI* DE L'IMPACT RÉEL DU PROJET GAO DOSSO

MÉTHODOLOGIE DE L'ÉVALUATION DE 1992

- **Une enquête et des inventaires**

Cette étude a été organisée autour de deux axes complémentaires :

• une enquête auprès d'un échantillon représentatif de la population pour évaluer ce qu'il reste de la sensibilisation de l'époque et constater si ces populations poursuivent des actions de protection des jeunes plants de gao ;

• des inventaires de terrain pour vérifier les densités actuelles de gao dans les champs et en comparer les résultats par rapport à l'ancien Projet Gao dans les années 1982-1985.

- **Choix d'un échantillon de cent agriculteurs dans dix villages**

On a retenu, à partir des listes de villages qui avaient été touchés en 1981-1985, dix d'entre eux répartis le long de l'axe Tibiri-Dogon Doutchi. Dans chacun de ces villages, et à partir des listes nominatives des paysans ayant reçu des primes au repérage dans les années 1981-1984, dix agriculteurs ont été choisis pour répondre aux questionnaires d'enquête et pour que soit réalisé un inventaire des arbres sur leurs parcelles.

- **Méthodes d'inventaire**

Chaque paysan a donc montré l'emplacement de ses champs dans lesquels l'équipe d'inventaire a positionné un placeau d'un hectare sur lequel elle a procédé au comptage et à la mesure des hauteurs et diamètres des arbres.

Trois types de fiches ont été remplies :

• la première s'intéressait aux gaos, qui sont les plus nombreux et que la population était incitée à protéger ;

• la deuxième concernait les arbres et arbustes de la famille des Combrétacées, car ces essences sont préférées comme bois-énergie ;

• la dernière recensait les autres essences du terroir agricole, tels les fruitiers locaux : *Sclerocarya birrea, Tamarindus indica, Diospyros mespiliformis,* etc.

Les centres de chacune des parcelles inventoriées ont été localisés (latitude et longitude) à l'aide du système de positionnement par satellite « Global Positioning System » (GPS).

- **Méthodes d'enquête**

Au cours des entretiens semi-directifs, l'enquêteur a posé aux cent paysans des questions relatives aux points suivants :

• Comment se sont déroulées les actions de repérage passées ?

• Quelles sont les causes de mortalité des jeunes arbres ?

• Ont-ils continué à protéger les arbres ?

• Qu'ont-ils retenu des séances de sensibilisation menées par le Projet ?

• Réalisent-ils encore de nouvelles sélections dans la régénération naturelle ?

• Ont-ils des remarques particulières ?

ANALYSE DES RÉSULTATS OBTENUS

- **De 1981 à 1992 la densité de faidherbia est passée de cinq à trente arbres par hectare**

Les résultats obtenus par l'inventaire réalisé dans cent placettes de un hectare montrent que la densité en faidherbias de toutes classes de hauteurs est de 29 pieds/ha, ce qui représente 40 % du parc arboré du terroir (cf. tableau III et IV, p. 292).

Concernant la répartition de ces gaos par classes de hauteur, on retrouve bien les 3 pieds/ha d'arbres adultes (hauteur supérieure à 10 m) identifiés en 1981 au moment du début du Projet. On peut considérer que sur les 15 plants/ha de la classe de hauteur 1,5 m-10 m, treize sont issus des actions du Projet et deux étaient déjà présents en 81 ; les plus grands (classe 4 m-10 m), directement des années 81-84 et les plus petits (classe 1,5 m-4 m), des années qui ont suivi le retrait de l'équipe du Projet. Ainsi, sur les 25 arbres/ha retrouvés en 1984, il n'en resterait plus que 8, c'est-à–dire un tiers.

- **Sept ans après la fin du Projet, les agriculteurs continuent à sélectionner de nouveaux arbres**

On remarque que les paysans semblent continuer les actions du Projet, non pas par un repérage formel à l'aide d'un piquet mais par une attention au moment des sarclages de saison des pluies et des coupes de

TABLEAU III
Résultat de l'inventaire des terroirs de la région de Tibiri (juin 92) concernant *Faidherbia albida* (gao)
Mesures sur 100 parcelles d'1 ha

Gaos H < 1,5 m			Gaos 1,5 < H < 4 m			Gaos 4 < H < 10 m				Gaos > 10 m			
Hauteur moyenne (cm)	Nombre de plants (n)	Densité à l'ha (n/ha)	Hauteur moyenne (cm)	Nombre de plants (n)	Densité à l'ha (n/ha)	Hauteur moyenne (cm)	Diamètre moyen (cm)	Nombre de plants (n)	Densité à l'ha (n/ha)	Hauteur moyenne (cm)	Diamètre moyen (cm)	Nombre de plants (n)	Densité à l'ha (n/ha)
79	1 111	11	241	712	7	580	18	750	8	1 377	48	303	3

saison sèche : on trouve que sept plants/ha ayant dépassé 1,5 m de hauteur et que onze plants/ha de moins de 1,5 m ont été protégés après 1985.

- **Les faidherbias ne sont pas les seuls arbres sélectionnés**

Le tableau IV nous montre les points suivants :

• On trouve, dans le terroir agricole de ces villages, une densité en arbres et arbustes qui est, toutes essences confondues, de 72 pieds/ha.

• Le parc à *Faidherbia albida* représente près de 40 % de cette densité, soit 29 pieds/ha.

• Le diamètre moyen des arbres de plus de 4 m de hauteur est de 28 cm.

• Le diamètre moyen des gaos de plus de 4 m de hauteur est de 27 cm ; il est le même que celui des arbres des autres essences.

• Par contre, la taille moyenne des arbres des autres essences est de 1,4 m, ce qui est notablement inférieur à la taille moyenne des gaos qui est de 3,8 m. Ceci est dû à l'importance des régénérations de Combrétacées, qui sont coupées tous les ans au moment de la préparation des travaux champêtres.

- **La protection d'un arbre a donc coûté moins de 100 F CFA**

Si l'on rapporte les résultats actuels au budget du Projet Gao Dosso, hors frais de structure et d'assistance technique (essentiellement la prime de repérage), on trouve un coût moyen à l'hectare de 1 200 F CFA et de 100 F CFA par arbre vivant.

TABLEAU IV
Résultats de l'inventaire des terroirs de la région de Tibiri (juin 92), comparaison entre faidherbia et autres essences
Mesures sur 100 parcelles d'1 ha

Toutes essences				Gaos				Autres essences			
Hauteur moyenne (cm)	Diamètre moyen* (cm)	Nombre de plants (n)	Densité à l'ha (n/ha)	Hauteur moyenne cm)	Diamètre moyen * (cm)	Nombre de plants (n)	Densité à l'ha (n/ha)	Hauteur moyenne (cm)	Diamètre moyen* (cm)	Nombre de plants (n)	Densité à l'ha (n/ha)
240	28	7 169	72	382	27	2 876	29	137	27	4 293	43

* Le diamètre des troncs à 1,3 m de hauteur n'est mesuré que sur les arbres de hauteur supérieure à 4 m

DISCUSSION

■ Réflexions sur l'importance relative de la prime et de l'animation

- **Le niveau des primes est resté modeste**

Le Projet a, en trois ans, versé près de 20 millions de F CFA aux paysans en primes de repérage. Les montants moyens versés par individu étaient de 1 000 F CFA en 1981, de 2 500 F CFA en 1982 et de 3 600 CFA* en 1983.

Cette question de la prime fut un point important de l'intervention du Projet et a suscité de nombreuses discussions, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur.

Quelles conclusions tirer de cette stratégie ? Il est difficile de s'en faire une idée précise et de discerner

* Ndlr. Soit, environ, le prix d'un sac de mil de 100 kg.

les raisons fondamentales qui ont incité les paysans à participer massivement à l'opération. Est-ce dû aux primes ou aux incessants passages dans les villages des agents d'encadrement ?

Lors du démarrage de l'opération en 1981, la distribution des primes a encouragé sans aucun doute les paysans qui voyaient là une occasion de gagner de l'argent sans être obligés de quitter le village (le département de Dosso est très sujet aux départs en exode).

Quelle est l'importance de ce pécule ? Beaucoup ont indiqué que « cette prime n'était que de la cola », un cadeau qui sans être très important fait plaisir. On peut cependant remarquer que, même si le montant moyen de la prime par paysan ne dépassait pas 5 000 F CFA, et pouvait donc paraître faible pour un « exodant », beaucoup de paysans qui ne partaient pas, les plus âgés notamment, ont été heureux de bénéficier de cet argent.

- **Les mesures incitatives auraient pu avoir un effet pervers sur l'appropriation des méthodes**

Après deux ans, les responsables du Projet avaient noté que, pour certains paysans, ces primes apparaissaient de plus en plus comme un dû consécutif à un travail. Ceci dénotait d'abord une mauvaise vulgarisation : ces agriculteurs ne ressentaient pas l'action du Projet comme étant la leur, mais comme étant celle des agents du Projet ! On pouvait donc estimer que l'appropriation des arbres par ces propriétaires des champs aurait du mal à se faire... Notons ici que ce biais se retrouve dans toutes les opérations qui utilisent des « mesures incitatives » comme base de leur vulgarisation : vivres du Programme Alimentaire Mondial, argent, récompenses diverses (maillots, casquettes etc.). Il est ainsi souvent bien difficile, en fin de projet, de reconnaître les vrais raisons de la participation dite populaire et de faire la part des choses entre les effets (recherchés) de la vulgarisation et les effets (pervers) des cadeaux en tout genre. Bien souvent, à la fin d'une opération de développement, l'effondrement des structures mises en place montre mieux que toute enquête les motivations des paysans.

Notons enfin que 27 % des chefs de famille des 94 villages avaient été directement concernés par l'attribution de ces primes et que les paysans ayant participé à l'opération n'avaient pas repéré des arbres sur la totalité de la surface occupée par leurs champs : de grandes possibilités d'extension des surfaces touchées existaient donc au sein de ces 94 villages.

- **Sept années après la fin du Projet, le rôle agronomique du gao et la nécessité de sa protection sont admis par la plupart des agriculteurs**

La prise de conscience du rôle agronomique du gao semble générale, ce qui peut montrer que les séances d'information n'ont pas toutes été oubliées. Par exemple, à Yarourou, de l'avis de tous, l'intervention du Projet a permis une prise de conscience du rôle fertilisant du gao dans les champs.

Les agriculteurs comprennent de mieux en mieux l'importance de l'arbre dans le fonctionnement des agrosystèmes.

Mais, plus que les résultats physiques ou techniques, ce sont les transformations sociales qui comptent. La notion de l'arbre, pièce maîtresse des systèmes de production, est de mieux en mieux comprise, d'où une volonté de le protéger aussi pour les génération futures.

- **Les agriculteurs gèrent de mieux en mieux leur système agroforestier avec une grande diversité d'espèces arborées**

Par ailleurs, les paysans ne se contentent pas de repérer et de protéger le seul faidherbia mais ils s'intéressent désormais à beaucoup d'autres essences se trouvant dans leurs champs. En particulier, Ils plantent

ou protègent *Khaya senegalensis* (pharmacopée), *Adansonia digitata* (alimentation) et la plupart des espèces fruitières locales, mais le gao tient toujours la place la plus importante. A Kouka, un paysan déclare : « Nous incluons le nombre de gaos dans le partage de l'héritage ». « Grâce au gao, j'ai multiplié ma récolte par 3 » dit un autre ; un dernier estime que « la vente d'un sac de gousses peut me rapporter jusqu'à 500 F CFA ».

Il faut noter qu'un certain nombre d'essences exotiques sont peu à peu plantées dans le parc (*Eucalyptus camaldulensis*) ou sont semées spontanément, puis sont protégées (*Azadirachta indica*) pour la production de perches de construction.

- **Hommes, femmes et enfants participent au repérage de la régénération**

Dans tous les villages enquêtés, les repérages commencent pendant la saison des pluies lorsque les jeunes plantules apparaissent, mais ceux-ci se poursuivent en saison sèche.

En général, tous les membres des exploitations agricoles participent à l'opération. Au début du Projet, les femmes, dans leur recherche du bois de chauffe, déterraient souvent les piquets servant de tuteur. Cependant, le travail de sensibilisation les a convaincues de conserver les piquets et de ne pas couper les jeunes arbres. Les enfants participent largement au repérage à tel point que plusieurs chefs de familles ont affirmé que cette tâche leur était dévolue.

- **Au-delà du repérage, les agriculteurs ont compris qu'il fallait « éduquer » les arbres**

D'après l'enquête, 80 % des agriculteurs interrogés continuent à repérer et à éduquer la régénération naturelle arborée. Ils disent réaliser les opérations suivantes :

• prendre garde à ne pas sectionner les jeunes pousses pendant les opérations culturales ;

• démarier les jeunes arbres s'ils sont trop nombreux (semis dense des aires de repos d'animaux, touffes de rejets maintes fois rabattues) ;

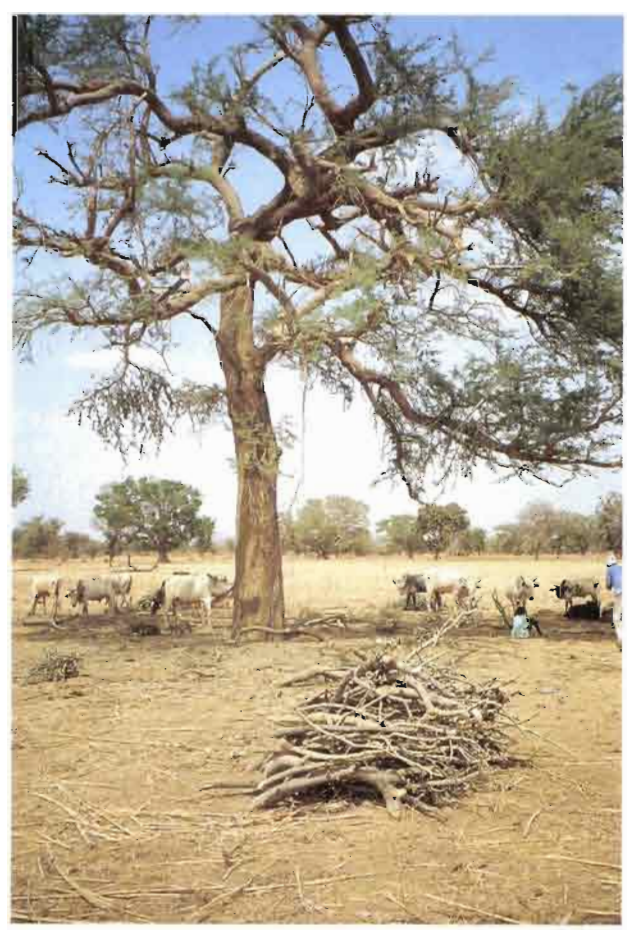
• tuteurer, c'est-à-dire dresser le plant et l'attacher pour avoir un plant bien droit : l'espèce utilisée pour confectionner ces piquets est *Anona senegalensis* ;

• tailler les branches basses des jeunes plants qui auraient un port trop arbustif ;

• élaguer les grands gaos, dont certaines branches peuvent gêner les cultivateurs dans leurs travaux champêtres ainsi que la croissance du mil ou du sorgho : les produits d'élagage seront utilisés dans les constructions ou comme bois de chauffe.

- **Les agriculteurs rejettent trop souvent la responsabilité de la mort des jeunes arbres sur des causes extérieures**

La mortalité des jeunes plants est plutôt attribuée au manque d'eau et à la sécheresse. Certains paysans citent des insectes défoliateurs ou des abattages clandestins opérés par les bergers. 23 % pensent aux chenilles défoliatrices et demandent des produits de lutte, 6 % citent le « vent de sable » qui ensevelit les jeunes pousses, 12 % accusent les enfants et les femmes de les couper pour des besoins de bois de chauffe ou par amusement. Seulement 3 % attribuent la responsabilité de la destruction des jeunes plants à d'autres facteurs, notamment à la non vigilance pendant le sarclage ; c'est donc qu'une partie du message vulgarisé n'est pas passée !



Les faidherbias et les autres arbres de l'espace rural doivent être gérés de leur naissance à leur mort (ici élagage modéré produisant bois et fourrage).

• Les paysans estiment que la prime a été bénéfique mais n'est plus nécessaire

Les agriculteurs n'ont pas oublié la prime au repérage dont ils disent qu'elle fut le moteur de démarrage de toute l'opération. Beaucoup pensent que des dons d'intrants agricoles ou des équipements en forages pour améliorer l'approvisionnement en eau auraient été plus intéressants.

Mais, comme à Yarourou, de nombreux paysans disent (et les résultats de l'inventaire le prouvent) qu'ils ont continué à repérer les jeunes gaos après la fin des opérations. Pour eux, le processus est enclenché, et il n'est donc pas question de revenir en arrière : « Grâce à la sensibilisation du Projet nous avons des gaos partout dans nos champs ».

A la question de savoir pourquoi ils repèrent le gao, plus de 90 % de paysans répondent qu'ils ont compris son utilité et que la sensibilisation du Projet a été le principal élément stimulant. Mais ils ajoutent : « maintenant que le processus est déclenché, cela n'est plus l'affaire du Projet ».

Pour tous, la prime a joué, au début et pendant toute la durée des opérations, un rôle moteur incontestable. Toutefois, si l'on compare son montant au revenu moyen par paysan, elle était vraiment faible. Le plus important était finalement que sa distribution intervienne aux moments difficiles *, quel que soit son montant brut. A Koré Marina, un agriculteur déclare : « la prime m'avait permis d'acheter des vivres » et dans un autre village : « avec la prime j'ai même payé une partie de mes impôts ».

□

□ □

Pour la protection des arbres dans l'espace rural, on retiendra que la prime n'a joué qu'un rôle de catalyseur, le plus important étant que la fin de son versement n'ait pas stoppé les actions de repérage. La prise de conscience s'est faite et les agriculteurs continuent les actions de protection des jeunes faidherbias et d'autres espèces arborées, sans vraiment se souvenir des thèmes définis par le Projet.

Mais si des réticences et inerties ont été vaincues, le chemin à parcourir dans le processus de réhabilitation de l'environnement reste long.

On peut estimer cependant que, dix ans après le début de cette opération, le processus social d'« évaluation-action » semble définitivement enclenché et penser surtout que tout projet de gestion des ressources naturelles en milieu rural doit axer ses efforts sur la sensibilisation et le suivi constant des paysans.

Remerciements : *Ce travail de synthèse n'aurait pu se faire sans l'appui humain et matériel du Projet Energie II, Volet Offre, qui a ressenti l'importance d'une évaluation précise des ressources disponibles et consommées par les populations rurales. Les équipes du Projet chargées de ces travaux étaient constituées de MM. Hassane DJIBO, chef de service des aménagements forestiers, et Issoufou LABO, chef de poste forestier de Tibiri. Un stagiaire de la faculté d'agronomie de Niamey, M. Abdoulkader INOUSSA, a réalisé les enquêtes auprès des paysans dont les champs avaient été inventoriés. Qu'ils soient ici remerciés du sérieux de leur participation.* ■

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Centre Technique Forestier Tropical, 1988. — Monographie *Faidherbia albida*. Nogent-sur-Marne, France, C.T.F.T., 72 p.

MONTAGNE (P.), 1984. — Dossier *Faidherbia albida* : son développement au Niger. Aix-en-Provence, France, Association Bois de Feu, 90 p.

ISSA (A.), GALADIMA (I.), MONTAGNE (P.), 1982. — Rapport d'activité Projet Forestier Gao 1981-1982. Dosso, Niger, 34 p. + annexes.

WEIGEL (J.), 1984. — Rapport d'activité Projet Forestier Gao 1983-1984. Dosso, Niger, 40 p. + annexes.

BARRIER (C.), 1985. — Evaluation rétrospective du projet Acacia albida dans le département de Dosso, Niger. Paris, France, C.C.C.E., 11 p. + annexes.

PROJET ÉNERGIE II, VOLET OFFRE, 1992. — Protocoles d'inventaire et d'enquête. Niamey, Niger. PEII V.O.

Pierre MONTAGNE
Projet Energie II, Volet Offre
BP 12860
NIAMEY
NIGER

Crédit photos D DEPOMMIER, R PELTIER

* Ndlr. Il faut remarquer que le Projet Gao Dosso a connu certaines années de sécheresse.

RÉSUMÉ

Le « Projet Forestier Gao Dosso » qui a mené ses activités de 1981 à 1985 souhaitait mobiliser et sensibiliser les paysans à la protection des jeunes *Faidherbia albida* issus de la régénération naturelle, au cours des différents travaux agricoles de saison sèche (défrichage) ou de saison des pluies (sarclages...). La zone d'intervention de ce projet était située dans le département de Dosso qui forme la partie la plus méridionale du Niger et qui est limité, dans les parties ouest et est, par deux vallées sèches appelées Dallol Bosso et Dallol Maouri très propices au développement naturel de cet arbre.

Ce type d'opération était une première au Niger en terme de projet bien que les paysans connaissent depuis longtemps l'intérêt agronomique de *Faidherbia albida* pour le maintien de la fertilité des sols. 94 villages furent donc touchés en trois ans (61 dans le Dallol Maouri et 33 dans le Dallol Bosso) qui représentaient respectivement 25 et 10 % du nombre total de villages de chaque arrondissement. Chaque village avait sensiblement la même importance (600 à 900 habitants).

Pour encourager les paysans au repérage des jeunes arbres, le projet leur octroyait une prime de 50 F CFA par plant, répartie sur 3 ans (30 + 10 + 10). Ces primes étaient versées en fin de campagne agricole, au cours des mois d'octobre et de novembre, sur la base des déclarations de repérage que faisaient les paysans. Ainsi, entre 1981 et 1984, près de 3 500 exploitants ont participé à l'opération et ont repéré plus de 500 000 plants de *Faidherbia albida*.

En 1992, dans le cadre du Projet « Energie II, Volet Offre », l'auteur a fait réaliser un inventaire dans 10 villages anciennement touchés par le Projet « Gao Dosso » pour évaluer l'impact du projet *a posteriori*. Les résultats suivants ont été trouvés :

- la densité en faidherbias de toutes classes de hauteurs est de 29 pieds/ha représentant 40 % des arbres du parc arboré qui poussent sur ces terroirs ;
- on retrouve bien les 3 pieds adultes/ha identifiés en 1981 au moment du début du Projet ;
- on peut considérer que l'action du Projet a contribué à la survie de 15 plants/ha de la classe de hauteur 1,5 -10 m ;
- le coût du projet (hors frais de structure) est de moins de 100 F CFA par plant vivant, sept ans après la fin de l'opération, ;
- la notion de l'arbre, pièce-maîtresse des systèmes de production, est de mieux en mieux comprise par les agriculteurs, d'où une volonté de le protéger aussi pour les générations futures.

On peut donc retenir que le versement d'une prime a eu un effet mobilisateur certain et a donné, sans conteste, une grande envergure aux actions de protection des arbres. Mais on peut en tirer comme principale conclusion qu'une action forestière différente de celles habituellement menées à cette époque est réalisable, pour peu que l'effort essentiel soit axé sur la sensibilisation et le suivi constant des paysans.

Mots-clés : *Faidherbia albida*. Niger. Conservation des ressources. Agroforesterie. Conscience sociale.

ABSTRACT

The « Gao Dosso Forestry Project », which was operational from 1981 to 1985, was intended to mobilize farmers and inform them about the protection of young *Faidherbia albida* trees resulting from natural regeneration, during the various farming operations in the dry season (land clearance) and in the rainy season (weeding). The area of activity for this project was situated in the Dosso *departement*, which forms the southernmost part of Niger, and is bounded to the west and east by two dry valleys called Dallol Bosso and Dallol Maouri, which are well suited to the natural development of this tree.

This was the first such operation in Niger, in terms of project planning, even though farmers have long been aware of the agronomic advantages of *Faidherbia albida* for maintaining soil fertility. Ninety-four villages were thus concerned over a three-year period (61 in the Dallol Maouri, and 33 in the Dallol Bosso), representing, respectively, 25 % and 10 % of the total number of villages in each *arrondissement*. All the villages were of roughly the same size (600-900 inhabitants).

To encourage farmers to locate and protect the young trees, the project granted them a bonus of 50 F CFA per seedling spread over three years (30 + 10 + 10). These bonuses were paid out at the end of the farming year, during the months of October and November, based on the location reports made by the farmers. Thus, between 1981 and 1984, almost 3,500 farmers took part in the operation and recorded more than 500,000 *Faidherbia albida* seedlings.

In 1992, as part of the « Energy II, Supply Division » project, the author had an inventory drawn up in 10 villages previously involved in the « Gao Dosso » project, to assess the impact of the project after the fact. The following findings emerged :

- the density of faidherbia trees of all heights is 29 stems/hectare, which represents 40 % of the trees in the wooded parklands existing in these village territories ;
- it is possible to locate the three adult stems/hectare identified in 1981 at the start of the project ;
- the project operations can be deemed to have contributed to the survival of 15 seedlings/hectare in the 1.5-10 m height category ;
- the cost of the project (apart from structural expenses) is less than 100 F CFA per live seedling seven years after the end of the operation ;
- the concept of the tree as the cornerstone of production systems in being better and better understood by farmers, whence their keenness to protect it for future generations as well.

It can thus be admitted that the payment of a bonus had a certain mobilizing effect, and undeniably lent a significant quantitative thrust to the tree-protection programmes. The main conclusion, however, is that it was possible to undertake a different forestry operation than those usually carried out at this time, even if the main effort was oriented toward raising the awareness of the farmers, and on-going follow-up activities.

Mots-clés : *Faidherbia albida*. Niger. Resource conservation. Agroforestry. Social consciousness.

GESTION DES RESSOURCES GÉNÉTIQUES DE *FAIDHERBIA ALBIDA*

Evaluation des flux de gènes intrapopulation

par Martin ZEH-NLO, généticien forestier, Centre universitaire de Dschang
et Hélène I. JOLY, généticien forestier, CIRAD-Forêt

Faidherbia albida a une aire d'origine très vaste ;
on le voit ici en zone nord-sahélienne, un jour d'harmattan.

L'étude de la diversité génétique des ligneux des zones tropicales est particulièrement importante pour élaborer une stratégie de conservation dynamique des ressources génétiques forestières. Contrairement à celle des espèces tempérées, la diversité génétique des ligneux tropicaux reste largement inconnue.

La tendance actuelle de la conservation des ressources naturelles a pour souci de respecter le mode de vie des populations locales tout en garantissant un développement économique. Pour élaborer une stratégie adaptée à la gestion des ressources génétiques ligneuses, encore faut-il savoir ce que l'on veut conserver, comment et où.

Les listes d'espèces prioritaires à conserver à l'échelle régionale (FAO, 1977, 1985, 1986) établies sur la base des atouts socio-économiques et écologiques montrent que *Faidherbia albida* est l'une des espèces à protéger tout particulièrement face aux dangers qui menacent sa présence dans certaines régions d'Afrique sèche. Cependant ces recommandations sont limitées au niveau spécifique et ne prennent pas en considération l'étendue de la variation génétique intraspécifique ; aucune indication sur les facteurs qui déterminent la structure génétique des populations naturelles n'est disponible. Or à l'échelle spatiale et temporelle, ces éléments sont fondamentaux pour des mesures de conservation des ressources génétiques de *Faidherbia albida*. Cette espèce présente en effet une large distribution géographique, liée en grande partie à l'action de l'homme.

Faidherbia albida, dont la distribution géographique couvre essentiellement les zones sèches d'Afrique, présente une combinaison de caractéristiques utiles à l'homme, qui en fait une composante fondamentale des systèmes agrosylvopastoraux. Pourtant les menaces d'appauvrissement et d'extinction de certains peuplements sont signalées (P. MONTAGNE, 1984) et, parallèlement, la méconnaissance de la biologie de *Faidherbia albida* — notamment l'ignorance des facteurs qui déterminent l'élaboration de la structure génétique des populations naturelles à l'échelle spatiale et temporelle — est un handicap pour la conservation dynamique des ressources génétiques de cette espèce.

Pour cette raison, nous avons évalué les flux de gènes intrapopulation afin de déterminer ceux qui sont les plus importants pour la gestion *in situ* des ressources génétiques de *Faidherbia albida*.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

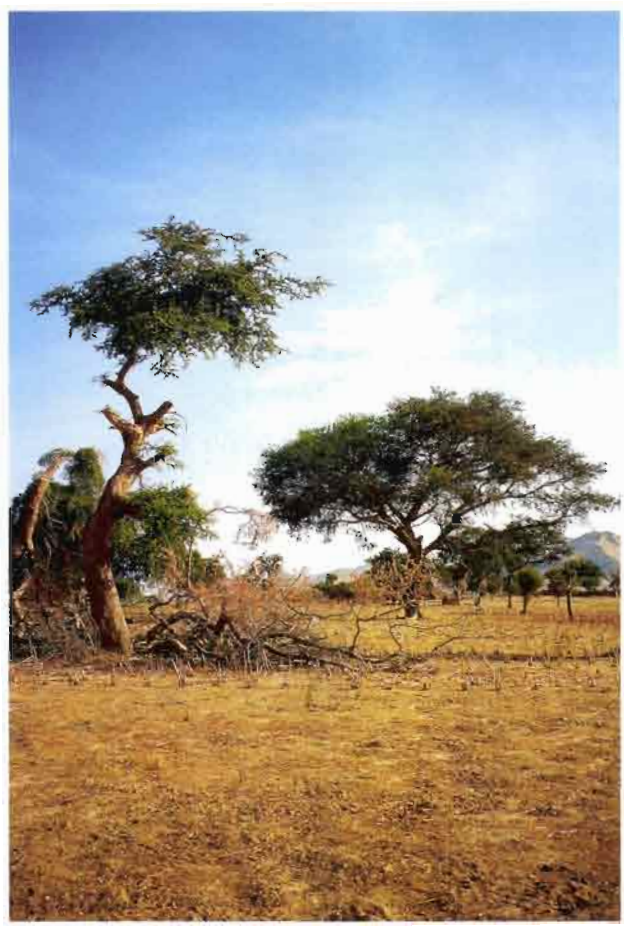
APERÇU SUR LES MÉTHODES

Notre approche a consisté à effectuer des observations sur la phénologie de la floraison (cinétique intra et interindividuelle) sur les arbres de deux populations naturelles du Nord-Cameroun (162 arbres et 115 arbres) localisées sur des sites écologiques différents, afin d'avoir des éléments d'information sur les possibilités de flux de gènes intrapopulation. Puis à l'aide de marqueurs isoenzymatiques (10 locus : Aap, Aco, Acp, Adh2-B-est, F-est, Lap1, Lap2, Me, Sdh) nous avons analysé le système de reproduction et la distribution spatiale des génotypes pour préciser les flux de gènes effectifs.

DESCRIPTION DES POPULATIONS ARBORÉES

Les populations de *Faidherbia albida* retenues sont situées l'une à 10 km à l'est de la ville de Maroua *, à Kongola sur sol sablo-argileux, et l'autre à Zamay sur vertisols, à environ 15 km à l'est de la ville de Mokolo. La pluviométrie annuelle moyenne dans ces régions oscille entre 600 mm et 800 mm. Les peuplements arborés présentent respectivement les caractéristiques dendrométriques suivantes : la hauteur moyenne est de 14,5 m et 13,1 m ; la circonférence, de 2,1 m et 2,0 m.

La population de Kongola est installée dans une zone cultivée (sorgho et coton) ; la pratique de l'élevage est associée à l'émondage des arbres en saison sèche. La distribution spatiale des arbres est régulière, la présence de semis montre l'existence de régénération. En admettant que la circonférence est corrélée à l'âge, la localisation en périphérie d'individus de faible circonférence et la prépondérance d'arbres de circonférence plus importante au centre de la population semblent indiquer que la régénération se déroule du centre vers la périphérie.



L'élagage, lorsqu'il est excessif (comme sur la photo), réduit la croissance des arbres et peut entraîner leur mort mais, modéré, il permet l'étalement de la floraison et renforce l'allogamie.

* Ndlr. On peut voir la position géographique de cette ville sur la carte du Nord-Cameroun, dans l'article de J.-M. HARMAND *et al.*, p. 271.

A Zamay, l'activité agricole est très limitée et l'élevage est marginal ; seule est notée la présence occasionnelle de bovins en transit pour la ville de Mokolo. La distribution spatiale des tiges est diffuse et allongée suivant le lit des cours d'eau temporaires ; par endroit, les arbres sont disposés en agrégats. Toutes les classes de circonférence ne sont pas représentées et aucune plantule n'a été observée. La population semble donc mal se régénérer.

La corrélation entre la circonférence et la hauteur totale (0,78) ou entre la circonférence et la hauteur du houppier (0,76) dans la population de Zamay est plus élevée que la corrélation entre les mêmes séries de variables à Kongola (respectivement 0,58 et 0,59). A Kongola, ces faibles corrélations signifient que les arbres qui ont une grande circonférence ne sont pas forcément de grands arbres. Un élagage sévère en est vraisemblablement la cause car, d'après STERCK *et al.* (1991), l'élagage mal pratiqué et le stress hydrique sont des facteurs qui désorganisent les séquences de croissance des arbres. Les valeurs des corrélations plus importantes observées à Zamay traduisent le fait que les arbres n'ont pas été émondés fréquemment au cours de leur vie.

PRINCIPAUX RÉSULTATS

COMMENT SE PRÉSENTE LA PHÉNOLOGIE DE LA FLORAISON DE CES POPULATIONS ?

- **Une durée de floraison très étalée qui renforce l'allogamie**

La durée du cycle de la floraison des deux populations est similaire, soit environ huit mois. La floraison de Kongola et celle de Zamay démarrent en septembre. Dans la première population, les arbres ne fleurissent plus après mai tandis que, dans la seconde, l'arrêt de floraison se situe en avril. A Kongola, l'étalement plus important de la floraison semble liée à l'émondage des arbres par les éleveurs. GUIDO (1989) signale, à ce titre, qu'un émondage convenablement pratiqué favorise une mise à fleur répétée et étalée. L'allongement de la floraison, induit par l'élagage, explique la présence de fruits en juin ou en juillet. Dans les deux populations, le chevauchement de la maturation, de la fructification et de la floraison est une conséquence de l'étalement de la floraison. Mais l'émondage est-il l'unique cause de la floraison répétée ? L'humidité de l'air ou la température peuvent être aussi associées à la floraison. Pour vérifier cette éventualité, sur la population de Kongola pour laquelle des observations phénologiques suivies ont été réalisées en 1991 et 1992, nous avons confronté les moyennes des données journalières de la température et de l'état hydrométrique de l'air sur 5, 10, 15, 20 et 30 jours avant la date d'observation, avec les valeurs correspondantes dans le temps du niveau de floraison, de fructification et de production en gousses. Il apparaît qu'un état hygrométrique élevé, avant la floraison, et une température basse ou modérée semblent favoriser la floraison et, dans une moindre mesure, la fructification et la maturation. Cependant, des caractéristiques intrinsèques à l'espèce peuvent également favoriser la floraison répétée ; en effet, le suivi de la floraison des rameaux nous a permis d'observer que celle-ci est acropète * ; la durée de sa progression sur un rameau peut s'étaler sur 40 jours et la fin de la floraison peut se terminer lorsque commence la floraison sur une autre branche émondée ou pas. Le chevauchement des périodes de floraison interarbres apparaît comme un facteur qui renforce l'allogamie **.

- **Beaucoup de fleurs ne donnent pas de fruits**

A Kongola et Zamay, les pics de floraison sont atteints entre janvier et février, ils correspondent à une densité maximale de floraison, probablement en faveur d'un régime de reproduction panmictique ***. A Kongola, les corrélations de rang calculées entre le niveau de floraison, le niveau de fructification et le niveau de maturation des différentes périodes d'observation, indiquent que le passage de la floraison à la fructification se déroule moins bien que le passage de la fructification à la maturation ; c'est dire qu'une masse de fleurs importante ne donnent pas de fruits. On peut évoquer, pour expliquer ce phénomène fréquent chez les acacias (SAVOLAINEN, communication personnelle), la présence insuffisante de pollinisateurs, des conditions défavorables à la pollinisation ou à la nouaison, mais aussi une stratégie de l'espèce pour assurer l'attraction des pollinisateurs en produisant de très nombreuses fleurs.

* Qui progresse sur les rameaux de l'extrémité vers la base.
** Allogamie : caractéristique d'une espèce ou d'une population qui se reproduit par croisements entre individus différents.
*** Panmictique : se dit d'une population dont les individus se croisent au hasard et dont l'appariement des gamètes est aléatoire.

- **Les pollinisations peuvent s'effectuer entre arbres de tailles très différentes**

Les résultats d'Analyses en Composantes Principales (ACP) effectuées avec les variables phénologiques ne permettent pas de caractériser des groupes de floraison qui se maintiennent d'une année sur l'autre dans les deux populations étudiées. En incluant les variables dendrométriques parmi les variables retenues pour réaliser les ACP, on observe qu'il n'y a pas de structuration de la floraison en fonction de la hauteur et de la circonférence. Pour ces raisons, les pollinisations devraient s'effectuer sans limitation entre arbres différents à chaque cycle de reproduction ; les flux géniques seraient donc peu limités. Une exception peut cependant être faite à Kongola pour les arbres de faible circonférence localisés en périphérie ; ces individus ont une floraison synchrone et précoce. Des échanges de gènes préférentiels peuvent donc s'établir au sein de ce groupe d'individus.

ORGANISATION ET STRUCTURATION SPATIALE DE LA DIVERSITÉ GÉNÉTIQUE BIOLOGIE DE LA REPRODUCTION

- **Une importante diversité génétique à l'intérieur des populations d'arbres étudiées**

La variabilité génétique à Kongola (H_T = 0,53) et à Zamay (H_T = 0,39) est considérable. Ces valeurs sont plus élevées que celles obtenues chez les acacias australiens H_T = 0,14 (*Acacia crassicarpa*) et H_T = 0,15 (*Acacia auriculiformis*). Ces résultats sont conformes aux études de HAMRICK *et al.*, 1992, qui montrent que, de mannière générale, la diversité génétique intrapopulation est importante chez les arbres. Chaque population est caractérisée par un excès d'hétérozygotes * (F = – 0,34 à Kongola et F = – 0,29 à Zamay). Cet excès est vraisemblablement lié à un régime de reproduction préférentiellement allogame. SOULÉ (1986) et HAMRICK (1979) s'accordent à dire que, d'une manière générale, les plantes allogames maintiennent un niveau de variabilité génétique élevé grâce à une hétérozygotie importante.

Les corrélations de rang calculées entre l'occurrence des allèles ** aux différents locus *** et la position des arbres suggèrent une faible structuration spatiale de la diversité génétique dans chaque population. A Kongola, cette structuration concerne les allèles Aap-1, Aap-2, Aco-1, Adh2-2, F-est-1, F-est-2, Lap2-1, Lap2-2, Lap2-3 et Me-2, A Zamay, il s'agit de Aco-1, Aco-2, Aco-3, Acp-3, Adh2-2, Adh2-3, B-est-1, B-est-2, B-est-3, F-est-3, Lap1-1, Lap1-2, Lap2-1, Lap2-2, Lap2-3, Sdh-1 et Sdh-3. En dehors de Aco-1, Adh2-2, Lap2-1, Lap2-2 et Lap2-3, les allèles pour lesquels on observe une structuration spatiale de la diversité génétique des deux populations sont différents.

- **La distribution spatiale aléatoire des génotypes de faidherbia à Kongola pourrait être due aux apports de graines par le bétail**

A Kongola, la distribution spatiale des différents génotypes pour chaque locus dans chacun des secteurs géographiques est quasi régulière ; seuls deux arbres ont des génotypes identiques. La distribution spatiale des génotypes ne devrait donc pas limiter les échanges de gènes ****, entre les différents génotypes. On peut penser que la fondation de Kongola s'est faite à partir de différents génotypes, répartis de manière quasi aléatoire. L'apport des graines par le bétail qui vagabonde et pâture les gousses des arbres de peuplements différents peut expliquer cette situation. De nombreux auteurs attribuent également la dispersion de l'espèce au bétail *****. A Kongola, l'action du bétail expliquerait l'absence de structuration nette de la diversité allélique et la faible similitude génétique entre arbres voisins. Les données historiques qui signalent la forte présence d'éleveurs et d'agriculteurs lors de l'émergence de puissants lamidats ****** autour de Maroua, il y a trois siècles environ (BOULET *et al.*, 1972), attestent des conditions favorables à la dispersion de l'espèce dans la zone de Kongola.

- **Dans le parc de Zamay, la faible intervention de l'homme pourrait réduire les brassages génétiques**

A Zamay, la répartition spatiale des génotypes n'est pas régulière. La diminution de la densité dans certaines parties géographiques associée à l'absence de certains allèles montrent une certaine structuration de la diversité allélique. L'installation du peuplement s'est donc vraisemblablement déroulée avec des génotypes dont l'agrégation par endroit présente des petites familles. Ainsi, l'organisation en agrégats de génotypes similaires pourrait induire des croisements préférentiels entre arbres déjà apparentés.

* Hétérozygote : un individu diploïde est dit hétérozygote pour un gène donné si les deux allèles qu'il porte à ce gène sont différents.
** Allèle : état possible d'un gène.
*** Locus : position d'un gène sur un chromosome.
**** Gène : séquence d'ADN qui code pour une fonction enzymatique par exemple.
***** Ndlr. Références non citées ici, cf. l'article de D. DEPOMMIER, p. 9.
****** Lamidats : chefferies ou sultanats peuls.

A Zamay la diversité génétique considérable peut s'expliquer par la présence de populations d'éleveurs et d'agriculteurs qui ont effectivement coexisté autrefois, avant les migrations humaines plus récentes signalées vers la région de Maroua. Les activités agricoles et pastorales moins intenses actuellement peuvent expliquer l'agrégation spatiale en petits groupes d'arbres apparentés. En effet, la surface cultivée est relativement faible et la pratique de l'élevage est marginale. Il se pourrait que les graines à l'origine du parc arboré de Zamay aient été apportées par le bétail, mais aussi que les semences aient pu être drainées par les cours d'eau temporaires à partir de petits peuplements en amont. L'origine de graines moins diversifiées pourrait expliquer une diversité allélique moins importante.

Des recherches historiques complémentaires seront nécessaires pour confirmer que la fondation de Zamay est différente de celle de Kongola et que l'activité anthropique a tenu une part importante dans l'élaboration de la variabilité. On peut cependant conclure que les modalités d'usage des peuplements de *Faidherbia albida* n'ont pas réduit la diversité génétique de cette espèce à Kongola.

- **Les fécondations entre arbres différents sont plus élevées aux périodes d'intense floraison**

D'une année à l'autre et du début à la fin de floraison, les taux d'allofécondation multilocus estimés sont variables à Kongola (0,56 à 0,97) et à Zamay (0,74 à 0,91). Les estimations monolocus sont similaires. Les fortes valeurs du taux d'allofécondation et ses variations montrent que *Faidherbia albida* possède un système de reproduction flexible, les valeurs les plus élevées étant comparables à celles obtenues pour d'autres populations de l'espèce (0,89 à 1,0 ; JOLY *et al.*, 1992). Les taux d'allofécondation élevés correspondent aux périodes d'intense floraison et les valeurs les plus faibles sont atteintes lorsque la floraison s'achève. Les valeurs les plus élevées sont atteintes à Kongola. La variation moins forte au cours du temps du taux d'allofécondation à Zamay est vraisemblablement liée à la floraison plus courte et plus groupée des arbres.

- **Les fécondations croisées sont indépendantes de la densité des arbres en floraison**

Une observation attentive de l'évolution des taux d'allofécondation par rapport à celle de la densité des arbres en floraison permet de relever que la variation des valeurs des taux d'allofécondation ne s'ajuste pas absolument à celle de la densité de floraison. Ces observations sont en désaccord avec celles obtenues sur les espèces entomophiles pour lesquelles, en général, la densité de floraison est associée à la variation du niveau d'allofécondation. A ce sujet, FURNIER et ADAMS (1986) soulignent le fait que les arbres isolés ont tendance à s'autoféconder. A Kongola comme à Zamay, lorsque le nombre d'individus en fleur augmente, les croisements entre arbres sont favorisés et le niveau d'allofécondation est élevé ; lorsque le nombre d'arbres en fleur baisse, le taux d'allofécondation se maintient élevé dans certaines conditions.

On peut donc penser que chez *Faidherbia albida*, des facteurs différents de la densité de floraison (conditions climatiques, éthologie des pollinisateurs, fertilité et réceptivité des stigmates) moduleraient alors le niveau d'allofécondation. En ce qui concerne les pollinisateurs, la présence d'insectes ne devrait pas être limitante pour la pollinisation ; en effet, TYBIRK (1993) a identifié une large gamme d'hyménoptères (*Chrysilidae, Scoliidae, Mulidae, Eumenidae, Larridae, Bambicidae*) et de lépidoptères impliqués dans la pollinisation, mais on peut penser que le changement du comportement des pollinisateurs pourrait induire la variation du taux d'allofécondation.

Pour chaque récolte, la différence entre les estimations multilocus et monolocus du taux d'allofécondation est généralement plus importante à Zamay qu'à Kongola. La fréquence plus élevée de croisements entre apparentés dans la première population est vraisemblablement à l'origine d'un tel résultat. La similitude génotypique entre arbres plus forte à Zamay peut expliquer un tel phénomène.

- **La composition génétique du nuage pollinique varie plus que celle des ovules au cours de la saison de floraison**

A Kongola et à Zamay, la comparaison de la fréquence des allèles du pollen et celle des ovules d'une récolte à l'autre révèlent que, de manière générale, le nuage pollinique impliqué dans la reproduction est hétérogène au cours de la saison de floraison alors que, parallèlement, la population des ovules est relativement plus stable. Nous pensons qu'une production de pollen, dont la fertilité varie au cours de la saison (en fonction de l'humidité ou de la température), et une période de réceptivité des stigmates moins variable dans le temps peuvent en être la cause. L'asynchronisme interarbres peut renforcer cet effet, plus marqué à Kongola, en raison sans doute de la diversité génotypique plus importante. De plus, les différences entre la fréquence des allèles du pollen et celle des ovules pour chaque récolte traduisent que les allèles du pollen et ceux des ovules sont inégalement impliqués dans la reproduction au cours du temps ; ce phénomène est plus important à Kongola.

• **La variabilité génétique se réorganise régulièrement**

Des ACP ont été réalisées en considérant conjointement les variables phénologiques et les paramètres génétiques. Les résultats montrent que, dans chaque population, une recomposition permanente des groupes reproducteurs est associée à un renouvellement des associations d'allèles. Le polymorphisme aura donc tendance à être réorganisé au cours du temps.

La structure génétique et la distribution spatiale de la variabilité génétique dans les populations naturelles sont bien en rapport (comme le pensent HAMRICK (1985) et LOVELESS (1992)) avec le système de reproduction, la dispersion des graines et la dynamique temporelle de la floraison ; elles dépendent aussi de l'interaction entre ces différents facteurs.

IMPLICATIONS DES RÉSULTATS DANS LA GESTION DES RESSOURCES GÉNÉTIQUES DE *FAIDHERBIA ALBIDA*

ASPECT DENDROMÉTRIQUE RÉGÉNERATION NATURELLE, DISPERSION DES SEMENCES ET PRODUCTION DE GOUSSES

■ Les parcs à faidherbia bien gérés s'étendent vers leur périphérie

La répartition spatiale des arbres en fonction de leur circonférence a révélé que, pour les populations étudiées, l'anthropisation influence la régénération naturelle. En effet, dans un parc agroforestier, la physionomie pourrait être caractérisée par un noyau central composé d'arbres autour duquel s'installe progressivement vers la périphérie les autres individus * ; il y aurait alors un gradient temporel de régénération naturelle du centre vers la périphérie. Tandis que, dans une population faiblement anthropisée comme à Zamay, l'organisation spatiale des arbres en fonction de la circonférence est diffuse, sans véritable structuration en fonction de l'âge. Divers travaux montrent que les parcs agroforestiers à *Faidherbia albida* en Afrique de l'Ouest, de l'Est et australe sont caractérisés par des physionomies variables (DEPOMMIER, 1991 ; JANODET, 1990). Il s'avère prudent de vérifier l'éventualité d'une organisation spatiale en fonction de l'âge sur d'autres peuplements anthropisés avant de pouvoir généraliser nos résultats **. En admettant leur généralisation, l'une des utilisations pratiques concerne la planification de la récolte des gousses. A cet effet, il s'avérerait pertinent d'entreprendre la récolte en périphérie sur les jeunes arbres relativement précoces et de l'étendre ensuite sur les autres arbres plus âgés dont la production est plus étalée.

■ Le bétail a certainement une place prépondérante dans la régénération de l'espèce

La production abondante de gousses montre que la reproduction de l'espèce ne constitue pas un problème. Cependant, nous avons observé à Kongola que le bétail ingère presqu'en totalité les gousses du peuplement, celles qui tombent au sol et celles qui sont obtenues par émondage. Les graines à l'origine de la population passent par le tube digestif des animaux qui, par leur déjection, assurent la dissémination. Pour D. DEPOMMIER ***, le bétail agirait sur le potentiel de régénération en réduisant le nombre de graines, mais en favorisant leur dispersion dont, par ailleurs, la levée serait diffuse ; ces graines répondraient ainsi mieux aux conditions écologiques de zones sèches. Tout en réglant la densité de *Faidherbia albida* pour autoriser l'agriculture, nous pensons que le paysan sélectionne les individus vigoureux. A Kongola, la régénération est attribuée à la reproduction sexuée ; la dynamique spatiale de la régénération naturelle, telle que nous l'avons observée pour une population anthropisée, laisse penser que le paysan doit probablement intervenir pour l'organiser dans l'espace. Les différences dans la répartition spatiale des arbres entre Kongola et Zamay

* Ndlr. Concernant l'extension concentrique des parcs, cf. également les articles de C. BERNARD *et al.*, p. 173, et C. SEIGNOBOS, p. 153, dans le même recueil.

** Ndlr. Dans les parcs anciens, il y a également renouvellement des vieux individus dans la partie centrale du peuplement.

*** Ndlr. Cf. l'article de D. DEPOMMIER, p. 9 sur la production fruitière de *Faidherbia albida*.

Le bétail disperse les graines et assure une répartition spatiale des génotypes presque aléatoire à l'échelle du parc (sur la photo troupeau sous faidherbia en pays Dogon, Mali).

semblent réellement confirmer que la structure spatiale est un témoin de l'activité anthropique comme le signalait déjà SEIGNOBOS (1978).

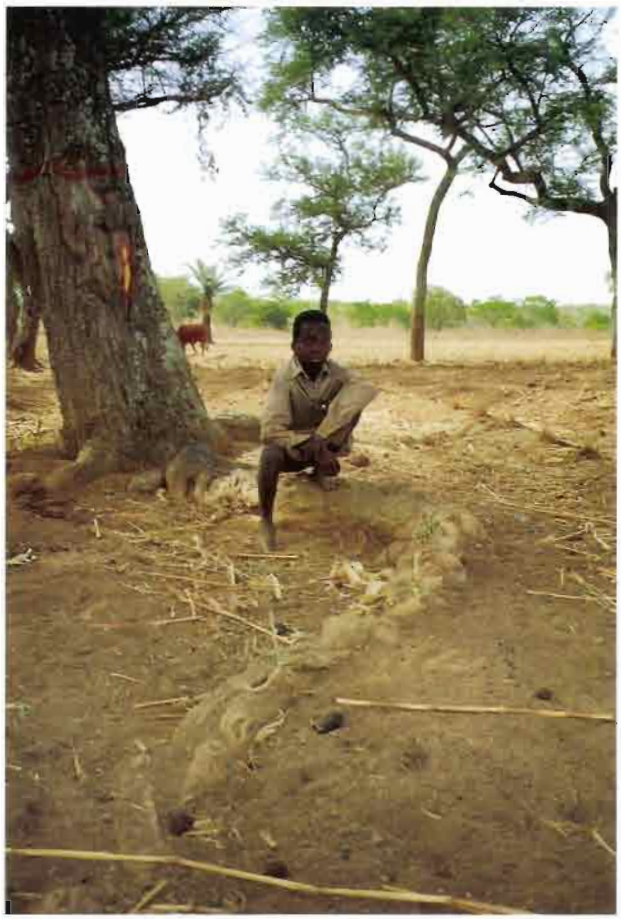
A Kongola comme à Zamay, il semble que le bétail ait une incidence sur la fondation des populations, sur la dynamique spatiale de la régénération et l'eau pourrait également assurer une certaine dispersion des graines. Ce moyen de dissémination est probablement à l'origine de la forme des peuplements de Makary et Adoumri (Nord-Cameroun) qui sont décrits par GIFFARD (1969) comme étant diffus et étalés le long d'une rivière (les facteurs morphopédologiques doivent aussi être pris en considération dans les réflexions sur la répartition spatiale des peuplements de *Faidherbia albida* qui se développe mieux sur des sols d'alluvions). A l'échelle d'un site comme Kongola, sur de courtes distances, le suivi du petit bétail permettrait de préciser son rôle sur le devenir du parc. L'étude de la sylviculture menée par les paysans, qui se traduit par la sélection et la protection des plants, fournirait par ailleurs des informations sur la dynamique et le fonctionnement des parc à *Faidherbia albida*.

A l'échelle du continent, la dispersion de l'espèce est plutôt attribuée au grand bétail (bovins) qui couvrent de grands espaces lors des transhumances. En l'absence de l'action de l'homme et des animaux domestiques, les animaux sauvages (antilopes, éléphants) constituent sans doute des facteurs de dissémination. L'histoire des mouvements migratoires des populations humaines comportent sans doute des points de repères qui dateraient la dissémination du faidherbia en zone sèche, à travers le continent africain. A cet effet, l'étude des mouvements migratoires des pasteurs peuls serait très informative.

REPRODUCTION SEXUÉE OU REPRODUCTION VÉGÉTATIVE ?

A Kongola comme à Zamay, la reproduction par voie végétative est négligeable ; en revanche, par contre ce mode de reproduction préférentiel en Israël (limite nord de l'aire naturelle) a sans doute des implications sur la structure génétique des populations *. A l'intérieur de l'aire naturelle, des drageons ont été observés (BONKOUNGOU, 1986). *Faidherbia albida* comme d'autres ligneux des savanes africaines : *Combretum spp., Guiera senegalensis* (CATINOT, 1994) possède a un large potentiel d'adaptation si bien que la reproduction par voie végétative ou sexuée est possible. L'identification des facteurs qui déterminent l'orientation de l'arbre vers l'une ou l'autre de ces voies clarifierait la stratégie adaptative de l'espèce.

* Ndlr. En limite méridionale de l'espèce (zone soudano-guinéenne), la reproduction végétative semble aussi importante (cf. articles de C. BERNARD *et al.*, p. 173, de OUEDRAOGO *et al.*, p. 191 et de D. DEPOMMIER, p. 9.



Au premier plan devant le petit garçon, drageons sur une racine superficielle de faidherbia : la photo est prise en zone sud-soudanienne (Côte-d'Ivoire) où la reproduction végétative est attestée.

■ La diversité génétique des semences varie au cours de l'année : il faut en tenir compte pour l'évaluer

Comme chez *Cavanillesia platinifolia* (MURASWKY *et al.*, 1990), le niveau d'allofécondation de *Faidherbia albida* des populations étudiées ne s'ajuste pas strictement à la densité de floraison. Pour échantillonner la diversité génétique de telles populations, il est important de déterminer de manière précise l'époque de récolte des graines pour obtenir un échantillon représentatif de la variabilité génétique. Les graines issues d'une densité de floraison minimale ou de la fin de floraison ont moins de chance de provenir d'un large brassage génétique. C'est pourquoi nous pensons que les périodes indiquées sont celles qui correspondent à la production de graines provenant d'une densité élevée de floraison qui est associée à un taux d'allofécondation important. Il serait cependant possible d'envisager des prévisions approximatives sur l'époque de floraison massive en se référant au niveau des précipitations. En effet, nous avons mis en évidence une relation entre le niveau anormalement élevé des précipitations en 1992 et le décalage (deux mois environ) de la période d'intense floraison à Kongola. Des observations conduites sur un plus grand nombre d'années et de peuplements permettraient de préciser ces résultats.

■ Il convient également de tenir compte de la répartition spatiale de la diversité génétique

Nous avons précédemment établi que la structure spatiale est un témoin de l'activité anthropique et que la forme allongée de la distribution des arbres à Zamay montre une répartition spatiale des différents génotypes et des différents allèles moins aléatoire qu'à Kongola où la répartition des arbres est plutôt régulière. Nous pensons, à cet effet, que la structure spatiale doit être également prise en considération pour mieux échantillonner la diversité de populations naturelles, compte tenu de l'organisation de la diversité génétique qui s'est révélée différente d'une population à l'autre.

■ L'élagage modéré augmente les flux de gènes intrapopulation

L'allogamie préférentielle au niveau d'une population est associée à la recomposition permanente des groupes de floraison. L'élagage considéré comme un moyen de mise à fleur peut aussi favoriser les échanges de gènes intrapopulation. C'est un mode de gestion qui renforce l'allogamie par l'étalement de la floraison et qui est donc « favorable » à l'espèce, en ce sens qu'il aide à créer de nouveaux génotypes à chaque génération. L'élagage permettrait ainsi de limiter les effets de fondation des populations naturelles et serait un moyen de contrôle des flux de gènes par le biais du pollen ; il permet donc, en quelque sorte, de « gérer » la diversité génétique.

■ Pour une gestion dynamique des ressources génétiques avec les agriculteurs et les éleveurs...

Faidherbia albida supporte mal la concurrence herbacée et les feux (MONTAGNE, 1984) ; il ne semble donc pas prédisposé à soutenir la compétition interspécifique en zone sèche. On peut par ailleurs penser qu'en l'absence de dispersion des graines par le bétail, des cercles de consanguinité peuvent se constituer

Dans certains cas, la conservation des ressources génétiques peut être assurée par réintroduction en milieu rural (sur la photo plantation d'une dizaine d'années au Cameroun).

autour des pieds-mères, ce qui pourrait conduire, à terme, à des pertes de vigueur chez les descendants.

Au nord du Cameroun, près du lac Tchad, le dépérissement de certains peuplements est vraisemblablement lié à la baisse de la pluviométrie ; cependant l'arrêt des cultures dans les parcs, liée à la migration des populations humaines, est certainement un facteur qui accentue les risques pesant sur les ressources génétiques de cette zone.

Des récoltes de semences pour la conservation *ex situ* devront être réalisées pour la préservation de certains peuplements qui sont réellement en danger immédiat de disparition ; cependant, la préservation dynamique *in situ* des ressources génétiques de *Faidherbia albida* ne peut s'envisager qu'en collaboration avec les principaux acteurs humains : les agriculteurs et les pasteurs. La sensibilisation des populations humaines aux problèmes de la conservation des ressources génétiques forestières devra être entreprise et des modalités de gestion devront être élaborées en prenant en considération la biologie de l'espèce afin d'en préserver les potentialités.

■ ...Et une prise en compte de la conservation des ressources génétiques par les Services de recherche et de développement

Les forestiers devraient se pencher avec sérieux et détermination sur l'élaboration de normes d'aménagement adaptées aux réalités biologiques, sociales et économiques pour garantir l'utilisation optimale et raisonnable des ressources génétiques de *Faidherbia albida,* composante essentielle des systèmes agrosylvopastoraux de zone sèche. ■

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BONKOUNGOU (E.G.), 1986. — *Acacia albida* (Del.). Un arbre à usages multiples pour les zones arides et semi-arides, Ressources Génétiques Forestières. Rome, Italie, FAO, 13 : 39-45.

BOULET (J.), 1972. — Les populations du Nord-Cameroun (Monts Mandara). Travaux et documents de l'ORSTOM, Paris, France, 23, 1 vol., 227 p.

CATINOT (R.), 1994. — Aménager les savanes boisées africaines, un tel objectif semble désormais à notre portée. *In :* Bois et Forêts des Tropiques n° 241, p. 53-67.

C.T.F.T., 1988. — *Faidherbia albida* (Del. A. Chev.). Monographie. Nogent-sur-Marne, France, C.T.F.T., 72 p.

DEPOMMIER (D.), 1993. — Production fruitière et devenir des semences de *Faidherbia albida,* la part des insectes spermatophages et du bétail dans la régénération de l'espèce dans le parc de Watinoma, Burkina Faso. Communication faite au Symposium International ICRAF/IRBET/CILSS/LTC sur « Les parcs agroforestiers des zones semi-arides d'Afrique de l'Ouest », Ouagadougou, Burkina Faso, 25-27 octobre, 19 p.

F.A.O., 1985. — Ressources génétiques forestières. Informations n 13. Rome, Italie, Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, 99 p.

F.A.O., 1986. — Ressources génétiques forestières. Informations n 10. Rome, Italie, Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, 120 p.

FURNIER (G.R.), ADAMS (W.T.), 1986. — Mating system in natural populations of Jeffrey pine. Amer. J. Bot. 73 : 1009-1015.

GIFFARD (P.L.), 1971. — Recherches complémentaires sur *Acacia albida* (Del.). Bois et Forêts des Tropiques n° 135, p. 3-20.

GUIDO, 1989. — Hedges for resource-poor land users in developing countries. Eschborn, Germany, Technical Cooperation. p. 237.

HAMRICK (J.L.), LINHART (Y.B.), MITTON (J.B.), 1979. — Relationships between life-history characteristics and electrophoretically detectable genetic variations in plants. Ann. Rev. Eco. Syst., 10 : 173-200.

HAMRICK (J.L.), SCHNABEL (A.), 1985. — Understanding the genetic structure of plant populations : some old problems and a new approach. *In :* Biomathematics n° 60, Population genetics in forestry. Gregorius (Eds), Springer Verlag, p. 50-70.

HAMRICK (J.L.), MARY JO (W.), SUSAN (L.), SHERMAN-BROLES, 1992. — Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant species. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. New Forests 6 : 95-124.

JANODET (E.), 1990. — Les parcs à *Faidherbia albida* sur le terroir de Watinoma (Burkina Faso). Diagnostics préliminaires à la mise en place d'expérimentations. Mémoire D.E.A., Paris, ENGREF, 70 p.

JOLY (H.I.), ZEH-NLO (M.), DANTHU (P.), AYGALENT (C.), 1992. — Population genetics of an African Acacia, *Acacia albida*. I. Genetic diversity of populations from West Africa. Aust. J. Bot., 40, p. 59-73.

KARSHON (R.), 1976. — Clonal growth patterns of *Acacia albida* (Del.). Bulletin of the International Group for the study of Mimosoideae, 4 : 28-30.

LOVELESS (M.D.), 1992. — Isozyme variation in tropical trees : Patterns of genetic organization. *In :* Population Genetics of Forest Trees, W.T. ADAMS, S.H. STRAUSS, D.L. COPES and A.R. GRIFFIN (Eds), Boston, Kluwer Academic Publishers, p. 67-94.

MONTAGNE (P.), 1984. — *Faidherbia albida* : un arbre, un projet. Bois de feu, 9 : 15-20.

MURAWSKI (D.A.), HAMRICK (J.L.), HUBELL (S.P.), FOSTER (R.B.), 1990. — Mating systems of Bombacaceous trees of a neotropical moist forest. Oecologia, 82 : 501-506.

O'MALLEY (D.M.), BAWA (K.S.), 1978. — Mating system of a tropical rain forest tree. Am. J. BOT, 74 : 1143-1149.

SEIGNOBOS (C.), 1978. — Végétation de clôture et systèmes de défense végétaux pré-coloniaux de la zone soudano-sahélienne (Tchad et Nord-Cameroun). Annales de l'Université du Tchad, p. 1-58.

SOULE (M.E.), 1986 – Applications of genetics and population biology : the what, where and how of nature reserves. *In :* Conservation, Science and society : The contributions of biosphère reserves for human welfare. J. McNEELY and NAVID (Eds). Paris, Unesco.

STERCK (F.J.), VAN DER ZANDT (G.J.A.W.), OLDEMAN (R.A.A.), 1991. — Architectural development of *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. *In :* Physiologie des Arbres et Arbustes en Zones Arides et Semi-arides. A. RIEDACKER, E. DREYER, C.PAFADNAM, H. JOLY et G. BORY (Eds), Groupe d'Etude de l'Arbre. Paris, John LIBBEY EUROTEXT, p. 249-256.

TYBIRK (K.), 1993. — Pollination, breeding system and seed abortion in some acacias Botanical Journal of the Linnean Society, 112 : 107-137.

Martin ZEH-NLO
Université de DSCHANG
Faculté des Sciences Agronomiques
BP 222
DSCHANG, Cameroun

Hélène I. JOLY
Unité de Recherche Diversité et Amélioration Génétique
CIRAD-Forêt / Baillarguet
BP 5035
34032 MONTPELLIER CEDEX 1, France

RÉSUMÉ

Au Nord-Cameroun, près de Maroua, les auteurs ont étudié la diversité génétique de 277 faidherbias dans deux parcs arborés. Celui de Kongola est encore très utilisé par les populations pour y cultiver et y faire pâturer le bétail ; il s'étend vers sa périphérie où l'on trouve beaucoup de jeunes arbres. Le parc de Zamay, au contraire, est peu valorisé et compte peu de jeunes individus.

Les différents faidherbias ont été repérés spatialement ; ils ont fait l'objet d'un suivi de la phénologie et de la floraison ; les flux de gènes intrapopulation ont été estimés grâce aux marqueurs isœnzymatiques.

On a constaté que la longue durée de la floraison, qui est vraissemblablement allongée par l'élagage à Kongola (de septembre à mai), renforçe l'allogamie. Il n'y a pas de groupes de floraison en fonction de la hauteur et de la circonférence, si bien qu'il peut y avoir fécondation entre vieux et jeunes arbres. La variabilité génétique est importante à Zamay (H_T = 0,39) mais plus encore à Kongola (H_T = 0,53). A Kongola, la distribution spatiale aléatoire des génotypes de faidherbias pourrait être due aux apports de graines par le bétail.

Les fécondations entre arbres sont plus élevées aux périodes d'intense floraison mais sont indépendantes de la densité des arbres. La composition génétique du nuage pollinique varie beaucoup au cours de la saison de floraison.

Les résultats obtenus ont des implications pour l'étude et la gestion des ressources génétiques de *Faidherbia albida* :

• pour évaluer la diversité génétique d'une population, il faut récolter les graines provenant d'une période de densité élevée de floraison ou de plusieurs passages successifs ;

• il faut également tenir compte de la répartition spatiale des individus pour échantillonner correctement ;

• on ne peut pas condamner l'élagage car celui-ci, lorsqu'il reste modéré et étalé, allonge la période de floraison et augmente les flux de gènes intrapopulation, tout en fournissant des produits aux populations.

En conséquence, on doit envisager une gestion dynamique des ressources génétiques avec les agriculteurs et les éleveurs dont les pratiques agissent sur la diversité génétique ; la conservation de lots de semences dans une banque de gènes ne sera qu'un apoint, nécessaire pour des peuplements en danger immédiat de disparition.

Mots-clés : *Faidherbia albida*. Variation génétique. Génotype. Floraison. Conservation du matériel génétique. Ressource génétique. Pool de gènes. Gestion des ressources.

ABSTRACT

In northern Cameroon, near Maroua, the authors studied the genetic diversity of 277 faidherbias in two parklands. The Kongola parkland is still being widely used by local people for crops and livestock grazing. There are many young trees growing towards its boundaries. Little use is made of the Zamay parkland, on the other hand, and it has few young specimens.

The different faidherbias have been spatially located. Their phenology and flowering have been monitored ; gene flows within population were estimated using isozyme markers.

It has been noted that the long flowering period, which is likely prolonged by pruning at Kongola (September to May), reinforced cross-fertilization. There are no groups of flowering trees based on height and circumference, with the result that there may be crosses between old and young trees. Genetic variability is significant at Zamay (H_T = 0.39), but even more so at Kongola (H_T = 0.53). At Kongola, the random spatial distribution of faidherbia genotypes might be due to seed input by livestock.

Cross-pollination between trees is higher in periods of intense flowering, but is not associated with tree density. The genetic composition of the pollen pool varies largely during the flowering season.

The findings have implications for the study and management of *Faidherbia albida* genetic resources :

• to evaluate the genetic diversity of a population, it is important to harvest seeds coming from a period of high flowering density, or from several successive phases ;

• it is also important to take into account the spatial distribution of the trees in order to make a proper sampling ;

• pruning cannot be banned, because when it remains moderate and staggered, it prolongs the flowering season, and increases the gene flow, within population and provides products for local people.

Consequently, the management of the genetic resources of *Faidherbia albida* has to be established as a dynamic process involving farmers and shepherds whose activities may modify genetic diversity ; the ex situ conservation of seed lots in a seed bank will only be a complementary action, useful for endangerered stands.

Key words : *Faidherbia albida.* Genetic variation. Genotype. Flowering. Germplasm conservation. Genetic resources. Gene pools. Resources management.

POUR OU CONTRE FAIDHERBIA ?

Et bien voilà, vous avez terminé la lecture du recueil, félicitations !

Sans avoir la prétention d'en faire le résumé, la quantité d'informations données étant trop importante, je me permets cependant de livrer au lecteur ce que j'en ai retenu. Pardon pour les simplifications, les oublis et le ton volontairement léger et un peu excessif.

J'avais donc, comme beaucoup d'entre vous, une vision idéalisée du faidherbia, aussi ai-je été un peu désappointé en voyant que beaucoup d'idées reçues ont en effet été mises à mal, souvent avec quelques délectations, par nos scientifiques.

- Pour D. DEPOMMIER, très peu de graines du faidherbia sont épargnées par la dent du bétail et la levée de dormance par le transit intestinal est peu efficace.
- Pour O. ROUPSARD *et al.,* cet arbre n'est pas plus résistant à la sécheresse qu'un bouleau et beaucoup moins qu'un chêne. En fait, il consomme beaucoup d'eau et ne doit sa survie en milieu sahélien qu'à ses racines plongeant dans les eaux souterraines.
- Pour C. LIBERT et O. EYOG MATIG, le faidherbia réduit la production de coton sur un bon sol bien fumé et ne fait qu'allonger les tiges, retarder la floraison et favoriser les adventices.
- Pour D. LOUPPE, les agriculteurs, ou plutôt les pasteurs, n'ont pas cette sage gestion de l'arbre qu'on leur prête souvent. Ils l'élagueraient au-delà du raisonnable et supprimeraient ainsi ses avantages.
- Pour C. SEIGNOBOS, S. OUEDRAOGO et leurs collègues, les faidherbias sont souvent plus subis que souhaités ; sur les « champs de case » fumés par le bétail et cultivés chaque année sans jachère, les jeunes semis et surtout les rejets et drageons sont envahissants ; il faudrait donc garder quelques arbres adultes pour contrôler ce sous-étage ; faidherbia pourrait donc être une adventice épineuse !
- Pour C. BERNARD et plusieurs auteurs, il semble pratiquement impossible d'étendre cette espèce au-delà des champs cultivés en permanence, d'autres espèces (néré, karité...) convenant mieux dans les champs de brousse où la jachère est pratiquée. Par ailleurs, sur dalle latéritique et en climat sud-soudanien, les racines de cette espèce sont souvent superficielles et gênent la culture attelée et même manuelle. Enfin, les actions de l'administration en faveur de la protection du faidherbia auraient souvent un effet négatif, les agriculteurs ne souhaitant pas favoriser un arbre qui pourrait occasionner des fortes amendes en cas de coupe ou d'émondage.
- Pour R. VAN DEN BELDT, la fertilité des sols précède en général la mise en place des arbres.
- Pour O. EYOG-MATIG, certaines provenances, sur des types de sol particuliers, installent leurs racines dans l'horizon superficiel et doivent par conséquent concurrencer les cultures.

- Pour D. LESUEUR *et al.*, il n'est pas en général indispensable d'inoculer les jeunes plants avec des souches de micro-organismes symbiotiques exotiques ; quant à B. BASTIDE et B. DIALLO, ils pensent qu'il faut se méfier des provenances qui poussent très vite dans le jeune âge, car elles peuvent ensuite se révéler inadaptées et ne sont pas forcément plus performantes pour la production de fruits et pour leur impact agronomique.

- Pour J.-M. HARMAND *et al.* enfin, un peuplement de dix ans, pourtant installé avec soin et dont la croissance a été correcte, n'a pas apporté de gain de production aux cultures ; au contraire, la surface cultivable a diminué car il faut contourner l'arbre avec la charrue.

Alors, a-t-on montré que tout ce qui avait été dit sur le faidherbia et sur ses parcs est faux et qu'il ne faut pas encourager la diffusion de l'espèce ? Bien au contraire, car les mêmes auteurs sont unanimes pour souligner ensuite les avantages que cet arbre garde malgré tout.

- D. DEPOMMIER *et al.* ajoutent en effet que si peu de graines survivent, du moins sont-elles diffusées par le bétail à plus grande distance ; de plus la levée de celles-ci étant étalée dans le temps, les chances de survie en cas de pluies irrégulières sont augmentées. Le même auteur montre ensuite avec P. DETIENNE et H. GUERIN que la croissance des arbres en parcs traditionnels est loin d'être négligeable. Cette espèce, réputée à développement lent, pourrait en fait rivaliser avec la plupart des essences locales et exotiques. La méthode de l'émondage, tant quelle reste modérée, semble bien adaptée à une récolte soutenue de bois et de fourrage et serait même recommandée, dans le cas de vieux arbres, pour réduire l'ombrage sur les cultures, stimuler la production de fruits et réduire les attaques de parasites végétaux. D'après M. ZEH-NLO et H.I. JOLY, cette pratique favoriserait l'évolution génétique de l'espèce et son adaptation à un milieu difficile.

- A. BERTRAND et A.L. BERTHE expliquent comment la sécheresse, toujours accusée de désertification, peut faciliter la régénération de l'espèce dans les zones inondables et comment un parc peut ainsi se créer.

- O. ROUPSARD *et al.* restent optimistes. Si l'amélioration génétique de faidherbia est d'autant plus difficile que les paramètres à évaluer sont malaisés et/ou longs à évaluer (enracinement, production fruitière, effet sur les cultures, consommation d'eau), du moins a-t-on progressé sur la détermination de certains indicateurs, ce qui ouvre des voies pour l'avenir. De plus, ces travaux révèlent qu'il ne faut pas se limiter à l'introduction de provenances à croissance juvénile rapide et ces conseils seront précieux pour ne pas faire de contresens écologique.

- C. LIBERT, D. LOUPPE, R. OLIVER, R. VAN DEN BELDT et leurs collègues prouvent que, sur sol pauvre (et probablement en année sèche), la production de sorgho, de mil et de coton est meilleure sous les arbres qu'en dehors. Qu'importe alors le vieux débat pour savoir si la fertilité précède l'arbre ou est amené par le bétail, les dépôts éoliens ou si la réduction de l'ETR est primordiale... puisqu'à l'évidence *Faidherbia albida* doit être conservé. En effet, l'éventuelle perte de production agricole sur sol fertile ou en année excédentaire serait largement compensée par les produits de l'arbre, directs (bois) ou indirects (viande), par l'augmentation des récoltes agricoles sur sol pauvre ou en année déficitaire et

par leur diversification ; il est en effet possible de cultiver sous le couvert de l'arbre des plantes plus exigeantes concernant la fertilité du sol et plus sensibles aux stress climatiques (chaleur, sécheresse).

- Les auteurs de la troisième partie attirent cependant notre attention. Si la coutume protégeait efficacement le faidherbia dans de nombreuses sociétés agraires, l'évolution des mœurs, des techniques agricoles et de l'environnement écologique et socio-économique peut parfois le faire disparaître. De nouvelles disciplines collectives (car elles ne peuvent pas être uniquement individuelles, pour ce qui concerne le pâturage en particulier) doivent se mettre en place, sans aucun doute avec l'aide de l'administration. Mais, sauf cas exceptionnel, il ne convient plus de réprimer, le système des amendes ayant des effets pervers et donnant lieu à trop d'abus. Mieux vaudrait encourager la gestion durable de l'arbre en reconnaissant clairement sa propriété à celui qui travaille la terre, en détaxant ses productions (bois), en exigeant que l'éleveur qui émonde un faidherbia en demande préalablement l'autorisation à son propriétaire et le dédommage de son travail sylvicole (installation ou entretien de l'arbre). Dans certains cas, la plantation ou la protection des semis et rejets pourraient être encouragées à l'aide de primes versées par des groupements villageois sur leurs propres fonds ou avec l'aide de l'Etat, comme le propose P. MONTAGNE dans le cas du Niger.

- Si A. BA, D. LESUEUR, B. BASTIDE et leurs collègues posent bien les limites des connaissances en matière de symbiose et d'amélioration génétique, c'est pour éviter les dépenses et les travaux inutiles. En général, il faut utiliser le matériel existant spontanément dans la région et on ne doit introduire des provenances ou des souches de symbiontes que lorsque l'avantage sur un sol donné en est clairement démontré.

- La plus forte note d'espoir vient peut-être de J.-M. HARMAND et des autres auteurs ayant travaillé au Nord-Cameroun. Ils ont constaté qu'il existe dans cette région de vastes parcs en construction, que l'introduction de provenances exogènes est parfois pleinement justifiée et que la plantation peut effectivement permettre la création de parcs « artificiels » en une dizaine d'années.

Mais de nombreux points d'ombre demeurent encore : trop peu d'études ont été menées sur la faune et la flore du sol (micro, méso et macro), rien n'a été dit sur la méga-faune (oiseaux, reptiles, rongeurs), et les travaux publiés sont souvent non terminés et trop partiels.

De vastes champs s'ouvrent petit à petit pour la recherche agroforestière, dont les bases s'affermissent chaque jour.

Quant aux services du développement, nous pensons qu'ils ont tout intérêt à favoriser l'extension des parcs à faidherbia dans toute la région nord-soudanienne, en se limitant aux zones cultivées en permanence (tout en cherchant à étendre ces dernières par une meilleure répartition du fumier, des résidus de récolte,...) et aux sols relativement profonds ayant une nappe phréatique encore abondante et pas trop éloignée. Sauf dans les cas où la recherche aura établi des connaissances certaines, on utilisera en priorité des semences de la région et des souches de symbiontes spontanées mais en cherchant à les enrichir par des introductions venant de zones homoécologiques. Ce matériel sera si possible mis en compétition dans des plantations relativement serrées (4 × 4 m à 8 × 8 m) dans lesquelles les agriculteurs

pourront faire eux-mêmes des sélections au fur et à mesure, sur les critères qu'ils estiment prioritaires en un lieu et à une date donnée. Lorsque les plants ou la main-d'œuvre seront en quantité limitée, on pourra retenir l'idée de R. VAN DEN BELDT de ne planter des arbres que sur les meilleures microstations identifiées par la bonne venue de la culture précédente.

En zone sud-soudanienne, on limitera l'introduction de *Faidherbia albida* au premier anneau de terres agricoles fumées par le bétail et travaillées manuellement qui sont situées autour des villages d'agropasteurs. C'est une zone où le bétail se repose en saison sèche et où les femmes pratiquent des cultures de case (légumes, maïs doux, tabac...) ; sur ces parcelles, les dégâts d'oiseaux et de rongeurs sont faciles à contrôler, et les racines souvent superficielles ne sont pas très gênantes.

En zone sahélienne, c'est surtout dans les bas-fonds bien alimentés en eau souterraine (type Dallol au Niger) que l'on cherchera à renouveler les parcs vieillissants ou à réintroduire l'arbre, lorsque celui-ci aura été décimé par la sécheresse, mais il faudra le faire en sachant bien que toute l'eau utilisée par l'arbre ne sera plus disponible dans les puits !

Faidherbia albida n'est donc pas une espèce miracle, et c'est tant mieux ! Espèce d'arbre presque ordinaire avec ses défauts (graves) et ses qualités (énormes), il convient de l'utiliser avec subtilité. C'est un outil précieux que les paysans individuels (rarement) ou les communautés villageoises (le plus souvent) peuvent utiliser pour diversifier et sécuriser leur production et préserver leur patrimoine de sol et de biodiversité car, dans des conditions bien précises, il possède le meilleur rapport qualité/coût.

Les scientifiques ont le devoir de continuer à mieux connaître cet arbre, à mieux le situer dans son environnement (le plus souvent anthropisé) et à diffuser leurs connaissances auprès de ceux qui sont chargés d'éduquer et d'encadrer les agriculteurs et les éleveurs des zones soudaniennes et sahéliennes.

Je terminerai d'ailleurs en félicitant les auteurs d'avoir commencé ou poursuivi la vulgarisation de leurs connaissances en participant à la rédaction de cet ouvrage, tâche ingrate et souvent mal reconnue pour les scientifiques. En leur nom, je remercie enfin Joëlle FRESNEAU qui en a assuré le secrétariat.

Régis PELTIER

Photocomposé et imprimé par JOUVE
18, rue Saint-Denis – 75001 PARIS
Dépôt légal n° 231067R – 2e trimestre 1996

LES PARCS À FAIDHERBIA

ÉDITION DU CIRAD-Forêt

Faidherbia albida, symbole de l'agroforesterie sahélienne, fer de lance des O.N.G., arbre sacré des sultans, tabou des administrations... serait bourré de défauts :

Faut-il donc détrôner cet imposteur ?

Certes non, car en lisant cet ouvrage vous découvrirez qu'il est un merveilleux outil au service des sociétés agraires, assez subtiles pour savoir l'utiliser à bon escient. En effet, les scientifiques et, à travers eux, les ruraux, vous présentent les connaissances qu'ils ont accumulées depuis une dizaines d'années et tracent de futures pistes pour l'étude, la gestion et l'extension des parcs agroforestiers soudaniens et sahéliens, où cet arbre reste irremplaçable.

ISBN : 2-87614-228-7