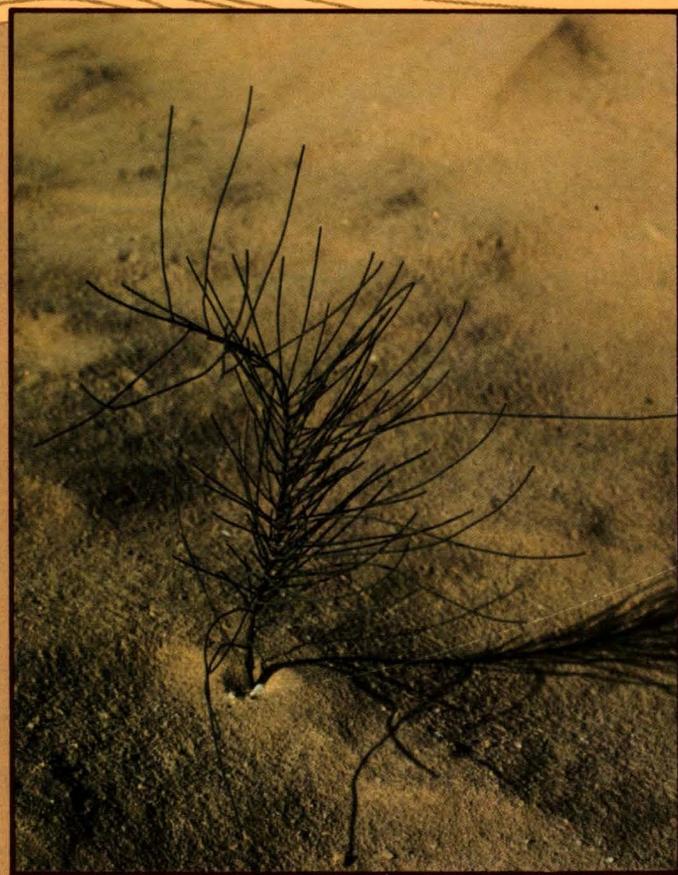


Techniques de reboisement dans les zones subdésertiques d'Afrique

G.R. Ferlin



Le Centre de recherches pour le développement international, société publique créée en 1970 par une loi du Parlement canadien, a pour mission d'appuyer des recherches visant à adapter la science et la technologie aux besoins des pays en voie de développement; il concentre son activité dans cinq secteurs : agriculture, alimentation et nutrition; information; santé; sciences sociales; et communications. Le CRDI est financé entièrement par le Parlement canadien, mais c'est un Conseil des gouverneurs international qui en détermine l'orientation et les politiques. Établi à Ottawa (Canada), il a des bureaux régionaux en Afrique, en Asie, en Amérique latine et au Moyen-Orient.

© Centre de recherches pour le développement international, 1981
Adresse Postale: B.P. 8500, Ottawa (Canada) K1G 3H9
Siège: 60, rue Queen, Ottawa

Ferlin, G.R.

IDRC-169f

Techniques de reboisement dans les zones subdésertiques d'Afrique. Ottawa, Ont., CRDI, 1981. 46 p. : ill.

/Publication CRDI/, /reboisement/, /rideau boisé/, /zone aride/, /Afrique/ — /aspects techniques/, /arbres/, bibliographie.

CDU: 634.0.23(6)

ISBN: 0-88936-295-5

Édition microfiche sur demande

Techniques de reboisement dans les zones subdésertiques d'Afrique

Guy R. Ferlin



*La mosaïque de Diane au Musée du Bardo (Tunis) nous montre une gazelle broutant le feuillage d'un arbre, vraisemblablement *Acacia tortilis*, soulignant ainsi un des rôles essentiels de l'arbre dans les zones subdésertiques : le "pâturage aérien", pour la faune sauvage aussi bien que pour les herbivores domestiques. Reproduit avec l'aimable autorisation de Monsieur le Conservateur du Musée du Bardo.*

Sommaire

Préface	4
Introduction	5
Les milieux	9
Objectifs des plantations forestières	11
Choix des essences	12
Techniques de reboisement	27
Plantations d'<i>Acacia senegal</i>	34
Fixation et reboisement des dunes	39
Conclusion	44
Bibliographie	45

Préface

L'un des objectifs du Centre de recherches pour le développement international (CRDI) est d'encourager la coopération entre les chercheurs des pays en développement afin qu'ils puissent mettre en commun leur expérience et profiter mutuellement de leurs travaux dans le but de faire un meilleur usage de leurs ressources pour résoudre leurs problèmes qui sont souvent de même nature. C'est dans cet esprit que le CRDI a appuyé depuis 1975 un projet pilote en Afrique dans le but de promouvoir la coopération dans le domaine de la recherche forestière. Un objectif important de ce projet est de préparer des études afin de recueillir tous les renseignements disponibles sur un sujet particulier des sciences forestières.

Lors de la conférence des Nations Unies sur la désertification tenue à Nairobi (Kenya) en septembre 1977, les responsables du projet ont convoqué un groupe de directeurs d'Instituts de recherches forestières et de Services forestiers d'une douzaine de pays des zones sèches de l'Afrique. Le but de cette réunion était d'obtenir leur avis sur les études prioritaires qui pourraient être réalisées afin de favoriser la diffusion des connaissances acquises dans des domaines précis de la recherche et du développement forestiers. Le groupe a retenu les trois thèmes prioritaires suivants : les techniques de reboisement dans les zones très arides, les effets des brise-vent et les aspects techniques et économiques des plantations forestières irriguées.

La première étude sur les techniques de reboisement dans les zones très arides d'Afrique a été confiée à M. Guy Ferlin qui est l'auteur de plusieurs écrits sur le rôle de l'arbre et du forestier dans le Sahel. En plus de consulter la bibliographie existante dans les principales bibliothèques forestières en Europe, l'auteur a effectué plusieurs missions dans une douzaine de pays limitrophes du Sahara afin de recueillir sur place des renseignements non publiés et de voir des réalisations qui n'ont pas fait l'objet de rapport.

Cette étude n'est pas exhaustive car l'auteur n'a pas disposé de tout le temps qu'il aurait fallu mettre pour préparer un manuel complet sur les techniques de reboisement dans les zones arides d'Afrique. Toutefois, nous croyons que cet ouvrage reflète bien l'état des connaissances sur les espèces et techniques de reboisement utilisées dans les zones très arides et nous espérons que ces renseignements seront utiles aux spécialistes qui exécutent des travaux de reboisement dans ces zones. Les études sur les brise-vent et les plantations sont en voie de préparation et elles seront publiées en français et en anglais dans les prochains mois.

Gilles Lessard

Directeur associé

*Programme des Sciences de l'Agriculture,
de l'Alimentation et de la Nutrition*

Introduction

L'objet de la présente étude est de chercher à remédier à une lacune que l'on peut constater dans la littérature forestière traitant des techniques de reboisement en Afrique. Si l'intérêt des spécialistes du reboisement s'est étendu aux zones arides, pour lesquelles on dispose d'ouvrages de haute tenue,¹ on manque en effet pour les zones très arides d'études de synthèse axées sur les particularités des problèmes de plantations forestières dans ces zones. Certes, ces problèmes ont fait l'objet de nombreux travaux, et de réalisations d'autant plus méritoires qu'elles portaient sur un milieu particulièrement ingrat, mais il faut en rechercher les données soit dans des ouvrages portant sur une gamme beaucoup plus étendue de conditions écologiques, soit dans des publications traitant de sujets très limités, comme par exemple l'enracinement de telle essence dans telle région et dans tel type de sol.

Par zones "très arides" ou "subdésertiques", nous entendons ici : (a) pour les régions au nord du Sahara (zone méditerranéenne), l'étage aride inférieur selon l'école d'Emberger (pluviométrie annuelle 100–200 mm), ainsi que l'étage saharien supérieur (50–100 mm); (b) pour les régions au sud du Sahara, les zones recevant moins de 400 mm de pluviométrie annuelle moyenne, l'isohyète 400 mm représentant ce qui devrait dans tous les cas (sauf conditions très particulières, telles que dépressions humides, lits d'oueds, etc.) être l'extrême limite nord de l'agriculture en sec — limite bien souvent dépassée, ce qui est (directement et indirectement) une des principales causes de la désertification. La bande des 200 à 400 mm qui s'étend à travers l'Afrique de l'Atlantique à la Mer Rouge, sur 6 000 km de long et 100 à 300 km de large, est appelée selon les auteurs "zone sahélienne" (*sensu stricto*), "zone nord-sahélienne" (la zone sud-sahélienne étant la bande 400–600 mm), "zone sahélo-saharienne" (Aubreville 1950), ou encore "zone subdésertique" (FAO 1975). Au-dessous de 200 mm de pluviométrie annuelle il n'est guère envisageable de faire pousser des arbres en sec au sud du Sahara, où les pluies tombent à la saison chaude, tandis qu'au nord du Sahara, en climat méditerranéen à pluies hivernales, la zone très aride (étage aride inférieur) commence aux environs de l'isohyète 200 mm et s'étend jusqu'à l'isohyète 100 mm, au-dessous duquel on a affaire à un climat désertique (étage saharien supérieur). Au nord du Sahara, par contre, on aura à la limite des possibilités de plantations forestières, à conditions de marginalité égales (mais non à pluviométrie égale), une production potentielle de biomasse végétale moins élevée, une partie des précipitations se situant à une saison où les températures sont trop basses pour permettre

¹Pour ne citer que les plus importants, mentionnons : Giffard (1974), Goor et Barney (1976), Laurie (1975) et Weber (1977).

une végétation active. L'évapotranspiration potentielle est, à pluviométrie égale, d'environ 50 % plus élevée dans la zone sahélienne que dans la zone méditerranéenne, d'où il résulte que la production de biomasse pour une pluviométrie donnée est plus faible.

Les pays ayant une partie de leur territoire dans la zone "très aride" ainsi définie sont : au nord du Sahara, le Maroc, l'Algérie, la Tunisie, la Libye, l'Égypte; au sud du Sahara, le Cap-Vert, le Sénégal (nord du pays, correspondant à la boucle du fleuve Sénégal), la Mauritanie, le Mali, la Haute-Volta (extrême nord), le Niger, le Nigeria (extrême nord-est), le Tchad, le Soudan.

On peut également y ajouter — avec certaines réserves motivées par une répartition annuelle des pluies différente — l'Éthiopie, le Nord Kenya et la Somalie. Enfin on retrouve des conditions comparables à l'extrémité sud et sud-ouest du continent africain, qui n'a toutefois pas été incluse dans la présente étude.

Avant d'entreprendre des "reboisements" dans la zone très aride ainsi définie, il faut se demander quelle sera leur utilité. Étant donné qu'il existe des zones beaucoup plus forestières lorsqu'on va vers des régions climatiques plus arrosées, les forestiers se sont généralement désintéressés de cette zone en tant que productrice de matière ligneuse. C'est donc le rôle de protection de la végétation forestière qui a été surtout souligné. Il en est résulté parfois des propositions assez peu réalistes de création de "ceintures vertes" constituées par des bandes de plantations forestières qui seraient destinées à arrêter la progression du Sahara. En réalité, de même que la désertification n'est pas concentrée sur un "front", mais se produit partout de manière diffuse, de même la protection doit s'exercer sur l'ensemble des zones menacées de dégradation et de "désertification".

L'arbre joue à cet égard un rôle essentiel : protection du sol contre l'érosion éolienne et pluviale, action sur le microclimat, enrichissement du sol par l'humus produit par les feuilles, par la fixation d'azote par les nodosités dans le cas des légumineuses, par les éléments minéraux puisés par les racines à des profondeurs qui peuvent être considérables.

Mais ce rôle de protection ne peut être dissocié du rôle de production de la végétation ligneuse. Il serait en effet illusoire de vouloir établir des plantations forestières dans les régions très arides d'Afrique dans un seul but de protection, dont le coût apparaîtrait prohibitif en regard des résultats mesurables à en attendre. Or ces régions de steppes et de savanes sèches ont une vocation essentielle, voire exclusive, d'élevage extensif. Celui-ci y est pratiqué traditionnellement depuis des millénaires, par des pasteurs nomades ou transhumants qui ont su tirer le meilleur parti d'un milieu naturel hostile. La végétation ligneuse joue dans l'alimentation des troupeaux un rôle essentiel, principalement à la saison sèche où les feuillages et les gousses des arbres et arbustes fournissent un apport de matière verte riche en protéines, ainsi qu'en phosphore et en carotène indispensables aux animaux.

L'arbre est par ailleurs la source principale sinon exclusive de combustible dans de vastes régions, où l'accroissement de la population notamment dans les centres urbains a amené une surexploitation des ressources li-

gneuses, qui est avec le surpâturage et l'extension abusive des cultures une des causes principales de la désertification. Il fournit en outre des bois pour la construction des cases, des piquets de tente, etc. Une utilisation importante est la confection de clôtures, soit permanentes, soit temporaires ("ze-riba").

Les produits accessoires fournis par la végétation ligneuse peuvent avoir dans certains cas une importance prépondérante. C'est notamment le cas de la gomme arabique, produite principalement par *Acacia senegal*.

Les milieux

Les climats

Au nord du Sahara on trouve un climat de type méditerranéen à pluies hivernales, dont le maximum se situe en décembre-janvier, tandis que dans la zone sahélienne la saison des pluies se situe en été, de juin à septembre, avec un maximum en juillet-août, le nombre de mois secs selon la définition d'Aubreville ($P < 30$ mm) étant de 8 à 11.

Cette différence essentielle entre les régimes pluviométriques des deux zones, à laquelle s'ajoutent des différences dans l'amplitude des variations de températures diurnes et saisonnières et dans la longueur du jour, entraîne des différences importantes dans la physionomie et dans la composition floristique de la végétation naturelle, et il en résulte également que peu d'essences de reboisement se montrent adaptées à l'une et l'autre zones.

Un facteur important est l'humidité atmosphérique, qui dans les régions soumises aux influences maritimes compense dans une très large mesure le faible volume des pluies. Elle peut expliquer par exemple la répartition de l'arganier au Maroc, ou la réussite de plantations forestières effectuées dans des stations très peu arrosées (Nouakchott, îles du Cap-Vert, etc.).

Les sols

Au nord du Sahara on trouve principalement, dans la zone étudiée ici, des sols gris et rouges subdésertiques, qui font suite aux sols bruns steppiques des zones moins arides (étage aride supérieur). Ces sols ont une texture à dominance sableuse; ils sont souvent gypseux. On trouve également des sierozems, plus évolués et un peu plus riches en matière organique, bien pourvus en calcium, et dans les dépressions des superficies importantes de sols halomorphes.

Au sud du Sahara, dans la zone sahélienne, on trouve des sols bruns et brun-rouge, et des sols moins évolués formés par des apports éoliens (dunes sableuses).

Une caractéristique générale importante des sols des zones arides est qu'ils constituent des séquences ("catenas") ou mosaïques complexes liées à la topographie, les sommets des ondulations de terrain portant des sols généralement sableux, tandis que dans les dépressions on trouve des sols à texture fine. Si ces catenas et mosaïques se retrouvent sous d'autres climats, elles ont ici une incidence particulièrement marquée sur les conditions du reboisement, du fait que de petites variations dans les propriétés des sols se

traduisent par des variations dans la croissance des végétaux et dans les chances de réussite des plantations d'autant plus grandes que le climat est plus aride.

Choix des terrains

Il serait illusoire de chercher à réaliser des opérations de reboisement systématiques dans les zones considérées. Il faut au contraire limiter l'introduction d'essences ligneuses aux terrains qui leur conviennent le mieux. Les sols trop superficiels, présentant un horizon induré à faible profondeur, les sols trop rocheux, et les sols à texture trop argileuse, doivent être exclus. Par contre les sols sableux présentent des conditions optimales. En raison de leur grande perméabilité ils permettent une pénétration profonde de l'eau de pluie, et par suite de la faible hauteur de remontée capillaire cette eau ne s'évapore pas en saison sèche : on constate dans les sols de dunes que le sable reste humide, en pleine saison sèche, à une profondeur de 50–60 cm. En outre la faible teneur en éléments colloïdaux fait que le point de flétrissement est rapidement dépassé, et que l'eau se trouve presque entièrement disponible pour les végétaux.

Les dunes sableuses représentent donc un milieu de choix pour les plantations forestières. Lorsqu'il s'agit de dunes mobiles il faut tout d'abord les fixer, ce qui peut être l'objectif primordial du reboisement lorsqu'elles menacent oasis, villages, voies de communication ou canaux d'irrigation.

Le cas le plus favorable est celui où l'on a un sol de texture sableuse ou sablo-limoneuse surmontant une nappe permanente à profondeur moyenne. Les arbres peuvent alors présenter une croissance extrêmement vigoureuse dès que leurs racines ont atteint le niveau de la nappe.

Les sols plus évolués, même ceux de texture à dominance sableuse, présentent souvent des difficultés de pénétration des eaux de pluie, d'autant que celles-ci tombent souvent en averses violentes. Il en résulte un ruissellement important, d'où érosion et diminution de la quantité d'eau disponible pour les plantes. Il faut dans ce cas prendre des mesures destinées à arrêter le ruissellement et favoriser l'infiltration.

Il est important de chercher à avoir une idée aussi précise que possible sur la profondeur de la nappe et sur son évolution au cours des saisons. Une nappe qui remonte trop haut à la saison des pluies peut entraîner la mort par asphyxie de certaines essences; si elle est trop profonde en saison sèche les racines de certaines essences ne pourront l'atteindre.

La végétation naturelle peut dans une certaine mesure donner des indications sur la texture et autres caractéristiques du sol, et sur son alimentation en eau.

Objectifs des plantations forestières

Dans les zones très arides considérées, les plantations forestières doivent avoir pour objectif essentiel la production de bois et de fourrage pour la satisfaction des besoins locaux. Même dans le cas où l'on poursuit un objectif de protection, il faut chercher à justifier et rentabiliser les travaux entrepris par une production utile; par exemple, des travaux de fixation et de reboisement de dunes pourront fournir du bois de chauffage et des perches, exploitables en taillis sans nuire au rôle de protection du peuplement.

Des reboisements de protection pure à grande échelle ne se justifient absolument pas dans les zones considérées, où l'importance des superficies à traiter et les conditions écologiques généralement défavorables entraîneraient des coûts prohibitifs. La protection et la restauration du milieu naturel doivent donc être recherchées essentiellement par un aménagement rationnel, notamment du pâturage, visant à supprimer les causes de dégradation et à assurer la régénération de la végétation aussi bien ligneuse qu'herbacée.

Les objectifs des reboisements pourront donc être les suivants : (a) la production de bois de chauffage, de perches, et dans des cas exceptionnels de bois d'oeuvre; (b) la production de fourrage, sous forme de feuilles et de gousses; (c) la production de gomme arabique; (d) enfin la fixation des dunes mobiles, qui dans ces zones d'où l'agriculture en sec devrait être bannie ne se justifiera que si ces dunes menacent des périmètres d'irrigation, des installations humaines ou des voies de communication. Encore faudra-t-il, avant d'entreprendre de tels travaux, se demander dans quelle mesure la suppression des causes de dégradation (surpâturage, extraction de bois de chauffage, et évidemment cultures agricoles) ne pourrait pas à elle seule permettre une régénération de la végétation naturelle qui fixerait efficacement les sables.

Dans le cas des plantations destinées à la production de bois de chauffage et de bois de service, il faudra toujours songer aux plantations irriguées de préférence aux plantations en sec, lorsqu'elles sont possibles. C'est le cas dans les périmètres d'irrigation, où l'on peut par exemple envisager des plantations en bandes ayant un rôle mixte de brise-vent et de production ligneuse. Les plantations de bois de chauffage, dans la zone sahélienne, sont surtout nécessaires pour l'approvisionnement des agglomérations urbaines, lesquelles sont le plus souvent situées sur un grand fleuve : exemples Tombouctou et Gao sur le Niger, Khartoum sur le Nil. Il peut dans ce cas être justifié de créer des systèmes d'irrigation uniquement en vue de plantations forestières irriguées. A défaut, on aura souvent la possibilité d'établir des plantations forestières qui bénéficieront de la nappe alimentée par le fleuve.

Choix des essences

Nous n'examinerons ici que les caractéristiques générales des essences présentant un intérêt pour les zones étudiées, n'insistant que sur celles qui paraissent les plus prometteuses, ou sont insuffisamment connues. Pour les autres, on pourra se reporter pour plus de détails notamment à Goor et Barney (1976) et à Laurie (1975).

Acacia albida

L'*Acacia albida* (ou *Faidherbia albida*) est une essence particulièrement intéressante pour la zone sahélo-soudanienne, où ses qualités remarquables de production fourragère et d'amélioration des sols cultivés, reconnues de temps immémoriaux par les populations locales, ont fait l'objet d'études scientifiques et donné lieu à des plantations systématiques. Dans la zone sahélienne proprement dite, à moins de 400 mm de pluviométrie annuelle, son intérêt est moins marqué dans la mesure où il est normalement lié à une agriculture en sec. C'est pourquoi nous n'insisterons pas sur cette essence, sur laquelle on peut trouver des informations détaillées notamment dans Giffard (1974).

Acacia cyanophylla et autres acacias australiens à phyllodes

Les échecs enregistrés dans les essais effectués avec *Acacia cyanophylla* au sud du Sahara montrent que cette espèce est à réserver aux climats de type méditerranéen, de préférence plus humides que ceux qui nous intéressent ici. C'est une essence précieuse pour le reboisement des dunes, depuis l'étage aride supérieur (région de Tripoli) jusqu'à l'étage subhumide (dunes de la côte nord de Tunisie).

Acacia aneura : c'est également un acacia à phyllodes originaire d'Australie. Il a été planté avec succès en Tunisie centrale pour la production fourragère, sous le nom d'*Acacia ligulata* avec lequel il est souvent confondu, mais il n'a pas les mêmes qualités d'appétabilité que cette dernière espèce.

Acacia auriculiformis : cette espèce a donné de bons résultats initiaux à Niamey. Son intérêt réel reste à démontrer.

Acacia holosericea : ce bel acacia australien, à larges phyllodes, a montré une bonne vigueur initiale dans les essais, mais à Mbiddi (Nord Sénégal), par exemple, il sèche au bout de 3 ans, n'ayant pas résisté à une année de pluies très déficitaires. Il est mieux adapté à la zone soudanienne et à la zone

soudano-guinéenne, où il montre une croissance vigoureuse et s'avère être la meilleure espèce fixatrice d'azote.

Acacia linarioides : c'est encore un acacia australien essayé en zone sahélienne, où il résiste mieux à la sécheresse que l'espèce précédente, mais où son intérêt reste à démontrer.

Acacia salicina : cet acacia à allure de saule, d'où son nom, semble intéressant notamment pour les sols gypseux de l'étage aride d'Afrique du Nord.

On peut encore mentionner, comme espèces donnant des résultats parfois excellents en zone soudanienne mais moins bien adaptées à la zone sahélienne, *Acacia tumida*, *A. pyrifolia*, *A. bivenosa*, etc.

Acacia nilotica (A. scorpioides)

Cette espèce présente 3 sous-espèces : *A. nilotica* ssp. *nilotica* (le "Sunt" du Soudan) et ssp. *tomentosa* (le "Gonakié" du Sénégal), qui forment des peuplements dans les parties saisonnièrement inondées des vallées des grands fleuves, et *A. nilotica* ssp. *adansonii* (*A. scorpioides* var. *adstringens*), beaucoup plus xérophile, que l'on rencontre dans les dépressions moins humides de la zone sahélienne. Il mérite d'être protégé là où il existe à l'état spontané, et peut même être employé en plantation. Les gousses des trois sous-espèces sont très appréciées pour le tannage, et font l'objet d'un commerce actif.

Acacia senegal

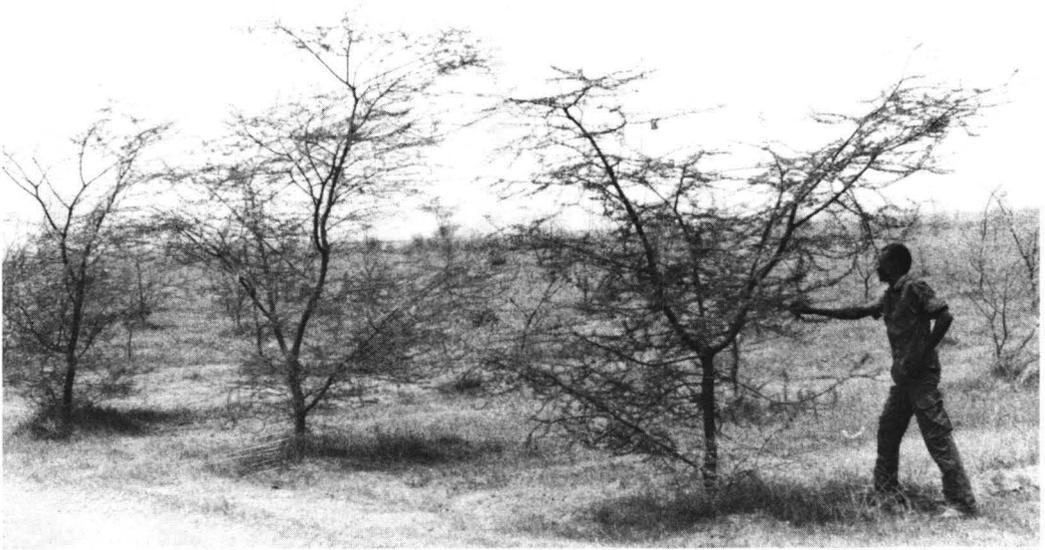
Acacia senegal, appelé Gommier dans les pays francophones, est l'une des espèces ligneuses les plus caractéristiques et les plus importantes de la zone sahélienne. Il est exploité depuis la plus haute antiquité pour la production de la gomme arabique, qui sert à de multiples usages.

A. senegal apparaît comme une essence pionnière, formant des peuplements mélangés ou localement purs, ne se maintenant pas si les feux de brousse sont fréquents. La régénération ne s'installe pas sous les peuplements âgés, mais de préférence sur sols nus ou peu couverts, notamment sur jachère après cultures agricoles. Il en résulte, lorsqu'il se régénère naturellement, un déplacement périodique des peuplements de gommier, des régénérations nouvelles apparaissant tandis que des peuplements précédemment délimités disparaissent, l'espèce étant peu longévive.

Nous reviendrons plus en détail sur *A. senegal*, auquel un chapitre spécial sera consacré.

Acacia tortilis

Acacia tortilis est l'une des rares espèces arborescentes se rencontrant à l'état spontané tant au nord qu'au sud du Sahara, et présentant un intérêt forestier égal dans ces deux zones. On distingue diverses sous-espèces : (a)



Acacia tortilis planté en 1975. M'biddi, Nord Sénégal, juin 1978.

A. tortilis ssp. *raddiana*; (b) *A. tortilis* ssp. *tortilis*; (c) *A. tortilis* ssp. *spirocarpa* (Afrique orientale); (d) *A. tortilis* ssp. *heteracantha* (Sud et Sud-Ouest africains).

Acacia tortilis est l'une des essences les plus résistantes à la sécheresse, se maintenant dans des conditions d'aridité extrême, grâce à son enracinement pivotant susceptible d'aller chercher l'eau très profond. Rappelons que le fameux "arbre du Ténéré", qui a longtemps servi de point de repère aux caravanes et a succombé à la récente sécheresse, était un *Acacia tortilis*.

A. tortilis fournit du bois de chauffage, et du fourrage par ses feuilles et par ses gousses qui à l'état vert ont une bonne valeur nutritive. On doit surtout protéger les peuplements existants et les régénérations spontanées contre la coupe et le pâturage abusifs et contre le feu, mais on peut dans certains cas envisager de le planter, notamment au nord du Sahara où ce sera sans doute la seule méthode possible pour régénérer les peuplements reliques très dégradés.

***Argania spinosa* (*A. sideroxylon*)**

Cette espèce occupe une aire restreinte le long de la côte sud du Maroc, où la "forêt d'arganier" constitue une caractéristique du paysage en même temps qu'une source de richesse pour les populations locales.

Les essais assez limités d'arganier hors de son aire d'origine ne permettent pas jusqu'à présent de le recommander comme essence de reboisement, malgré quelques rares résultats encourageants dans les zones littorales et sublittorales du Sud tunisien et de Tripolitaine.

Azadirachta indica

Nous n'insisterons pas sur cette espèce, d'un grand intérêt pour la zone sahélo-soudanienne ($P > 400$ mm), et à n'utiliser au-dessous de l'isohyète 400 mm que dans des conditions exceptionnellement favorables, par exemple en bordure des grands fleuves où la nappe phréatique se trouve en permanence à une profondeur ne dépassant pas 2 à 3 mètres.

Balanites aegyptiaca

Le "dattier du désert", ainsi qu'il est appelé en anglais, est une espèce caractéristique des paysages sahéliens, où il joue un rôle important par ses fruits comestibles, son bois dur et lourd à grain fin (pilons de mortier, etc.), ses rameaux épineux (zeriba). On a essayé de l'utiliser en reboisement, mais il est d'un intérêt limité à cet égard en raison de sa croissance initiale lente, et également du fait que c'est une espèce qui a été généralement respectée et est restée suffisamment abondante dans les savanes sahéliennes.

***Calligonum* spp.**

On rencontre dans les zones dunaires d'Afrique du Nord trois espèces de *Calligonum* : *C. comosum* (artha), *C. azel* (azel) et *C. arich* (arich), allant de la taille d'un buisson multicaule de 1-3 mètres de haut pour la première à celle d'un petit arbre de 4-10 mètres de haut pour la dernière, localisée dans les grandes dunes de l'Erg oriental. On les utilise notamment en Tunisie pour la fixation des dunes; les *Calligonum* sont certainement parmi les meilleures espèces à cet égard, malgré une croissance assez lente. Ils supportent très bien l'ensablement.

Les fruits des *Calligonum* sont des akènes entourés de soies raides formant une sphère qui roule sur le sable, poussée par le vent. On les sème en les recouvrant d'une épaisseur de sable de 2 cm. La plantation se fait avec des plants d'un an.

Casuarina decaisneana

Alors que *Casuarina equisetifolia* est une espèce littorale, adaptée à des zones côtières plus humides que celles considérées ici, *C. decaisneana* se rencontre à l'état naturel dans les zones les plus chaudes et les plus sèches d'Australie. C'est un arbre de bonne forme, atteignant 15 mètres de hauteur. Malgré les résultats négatifs d'essais réalisés au Sénégal en 1968, il pourrait présenter un intérêt pour les zones sèches d'Afrique, de même que *C. stricta*, qui est également une espèce de l'Australie continentale aride.

Conocarpus lancifolius

Conocarpus lancifolius ("Damas") est une combrétacée que l'on rencontre dans une aire assez limitée en Somalie et dans le sud de la péninsule arabique, de 0 à 1 900 mètres d'altitude, en peuplements de faible étendue le long de cours d'eau temporaires présentant une nappe permanente à faible

profondeur. En conditions favorables, il peut atteindre plus de 20 mètres de hauteur, et plus d'un mètre de diamètre. Il fournit un bois de couleur claire, moyennement dense, à fil entrecroisé qui rend difficile le rabotage mais lui donne une bonne résistance mécanique. Il est employé traditionnellement en construction navale (dhows de la Mer Rouge).

Conocarpus lancifolius est l'une des très rares essences à bois d'oeuvre des zones arides d'Afrique, et il a suscité un vif intérêt justifié par les résultats obtenus notamment au Soudan, où une plantation irriguée à la pépinière de Kassala atteignait à sept ans et demi une hauteur de 18 à 19 mètres soit une croissance en hauteur moyenne de 2,50 mètres par an, et un diamètre moyen de 26,7 cm, soit 3,6 cm/an. Il résiste aux très fortes chaleurs, et peut supporter une sécheresse prolongée (6 mois ou plus) dans de bons sols à capacité de rétention en eau élevée. Il vaut mieux toutefois le réserver à des sols bien approvisionnés en eau souterraine tout au long de l'année, ou encore l'utiliser en plantations irriguées. Les meilleurs sols sont des sols profonds, sableux à argileux. Il tolère une teneur en sels élevée, et résiste aux vents forts.

Les graines petites (2 mm) et très légères (1,700/g) tombent en hiver (janvier-mars); on les ramasse sur le sol. Elles doivent être peu ou pas recouvertes (1 mm maximum) lors du semis, qui se fait sur sol bien ameubli, soit en couche pour repiquer ensuite, soit en sachets de polyéthylène à raison de 6-7 graines par sachet. On arrose deux fois par jour jusqu'à la germination qui se produit au bout de 3 à 10 jours, ensuite une fois par jour lorsque les semis atteignent 2,5 cm. Le pourcentage de germination est de l'ordre de 25 %. Il ne faut pas d'ombrage.

Les plants sont mis en place à l'âge d'un an. Les plants élevés en planches ont alors une hauteur de l'ordre de 45 cm. On les plante sous forme de striplings, que l'on rabat à 30 cm de hauteur. L'écartement peut varier de 4 × 4 m à 6 × 6 m selon la station. La plantation se fait à la saison fraîche, d'octobre à mars en Somalie. On arrose ensuite régulièrement pour assurer une bonne reprise. On observe fréquemment des doubles tiges, qu'il faut éliminer. L'élagage naturel se fait bien lorsque le couvert est fermé.

Nous nous sommes étendus assez longuement sur cette essence encore peu connue en dehors de son pays d'origine, et qui offre des perspectives très intéressantes. Il faut toutefois se garder d'un engouement excessif à son égard, et tenir compte des exigences écologiques malgré tout assez étroites de cette essence.

Cordeauxia edulis

Cordeauxia edulis est un petit arbre des zones arides de Somalie, qui fournit un fruit comestible apprécié. Il serait intéressant de chercher à le propager dans d'autres régions susceptibles de lui convenir, bien que ses exigences écologiques soient sans doute assez étroites.

Cupressus dupreziana

Ce cyprès se trouve en Algérie à l'état de relique dans le Hoggar et le Tassili n'Ajjer. C'est une espèce très xérophile, qui mérite sans doute d'être

introduite dans les zones montagneuses d'Afrique du Nord trop sèches pour *Cupressus sempervirens* ou *C. atlantica*, ou même pour *C. arizonica*.

***Eucalyptus* spp.**

Les zones considérées sont à la limite des possibilités de plantations en sec d'eucalyptus, que l'on ne peut guère envisager que dans des cas particuliers où la nappe phréatique est proche de la surface du sol. Parmi les espèces les plus résistantes à la sécheresse qui ont été recommandées on peut mentionner plus particulièrement les suivantes : *Eucalyptus astringens*, *E. brockwayi*, *E. dundasii*, *E. flocktoniae*, *E. gracilis*, *E. le soueffii*, *E. microtheca*, *E. occidentalis*, *E. oleosa*, *E. salmonophloia*, *E. salubris*, *E. sargentii*, *E. torquata*.



Eucalyptus occidentalis, une des rares espèces d'eucalyptus vraiment intéressantes dans la zone subdésertique au nord du Sahara, du moins en plantation d'alignement. Route Gabès-Kébili, Tunisie.

E. occidentalis s'est avéré le plus résistant à la sécheresse en Tunisie (région de Gabès-Kebili), et on peut le recommander pour les plantations de bords de routes. Il est préférable de ne le planter que sur un rang de chaque côté, en établissant des cuvettes qui recueilleront les eaux d'écoulement de la chaussée.

E. salmonophloia s'est montré très résistant au froid dans les zones steppiques d'Algérie.

E. microtheca est surtout intéressant en plantations irriguées, lorsqu'il n'y a pas de disponibilités en eau à une période de l'année, comme c'est le cas au Soudan (plaine de la Gezira), sinon d'autres espèces doivent lui être préférées, notamment *E. camaldulensis* et *E. tereticornis*.

Il se peut que l'on trouve dans le "mallee" australien des eucalyptus susceptibles de s'adapter aux zones très arides d'Afrique, mais leur intérêt paraît a priori assez restreint étant donné qu'il existe des espèces de légumineuses qui tout en ayant une production ligneuse probablement équivalente ont l'avantage de fournir des feuilles ou des gousses fourragères, et d'exercer une action améliorante sur le sol.

Nous n'insisterons pas sur les eucalyptus, d'une part en raison de leur position trop marginale dans les zones considérées, d'autre part parce que la réédition prochaine de l'ouvrage de la FAO "Les eucalyptus dans les reboisements" fournira aux forestiers des zones arides et semi-arides une documentation abondante entièrement remise à jour.

Haloxylon persicum. Haloxylon articulatum

Les *Haloxylon* sont des arbustes de 4 à 6 mètres de haut, poussant dans les zones désertiques du Moyen-Orient sur les sols sableux et les dunes. Ils ne supportent pas une humidité atmosphérique élevée. Les graines très petites perdent rapidement leur pouvoir germinatif. Ces deux espèces sont intéressantes pour la fixation des dunes dans les régions continentales.

Parkinsonia aculeata

Cette espèce originaire d'Amérique tropicale est un petit arbre de 4-5 mètres de hauteur, à feuilles composées formant une cime peu dense. On l'a souvent recommandée en raison de son extrême résistance à la sécheresse, pour les plantations de protection et la fixation des dunes, mais pour ce dernier usage il semble qu'il faille l'abandonner, car elle ne forme pas un couvert suffisant au voisinage du sol, et ne résiste pas au déchaussement, auquel cas elle est facilement renversée par le vent. Elle a une aptitude bien moindre que *Prosopis* spp., par exemple, à utiliser l'eau d'une nappe profonde. Elle ne fournit par ailleurs qu'un bois de chauffage très médiocre.

L'intérêt de *Parkinsonia* dans les zones très arides réside plutôt dans ses qualités d'espèce d'ornement et d'ombrage, pouvant en outre fournir par son feuillage un excellent fourrage pour le petit bétail. C'est également une bonne espèce pour la constitution de haies vives.

Pistacia atlantica

Le "Betoum" est une essence caractéristique des zones arides d'Afrique du Nord, où il forme des peuplements extrêmement clairsemés dans les dépressions argileuses ("daya"); il pousse également dans des sites très rocheux, où ses racines s'accrochent dans les fissures des roches calcaires. Il peut atteindre une grande taille, jusqu'à 20 mètres de hauteur avec une cime dense et étalée, mais sa croissance est lente. Ce n'est guère une essence de reboisement, sinon dans un but de reconstitution du paysage primitif. On peut également l'utiliser comme porte-greffe pour le pistachier comestible (*Pistacia vera*).

Pithecellobium dulce

Cet arbre de taille moyenne, originaire d'Amérique tropicale, prospère sous des pluviométries très faibles pourvu que l'humidité atmosphérique soit suffisante, et mériterait sans doute d'être davantage employé. Ses gousses sont comestibles.

Prosopis juliflora et autres espèces voisines

Les *Prosopis* américains, désignés dans leurs pays d'origine sous les noms de "Mesquite", "Algarrobo", etc. sont certainement parmi les essences les plus intéressantes pour les zones considérées, et paradoxalement les plus mal connues, bien qu'on les ait introduits un peu partout mais sans prêter attention à l'origine des semences ni à leurs exigences écologiques exactes. Or on les rencontre à l'état spontané dans une grande partie de l'Amérique tropicale et subtropicale, depuis le sud-ouest des États-Unis jusqu'au Chili et en Argentine. La taxonomie des *Prosopis* était assez confuse jusqu'à la révision qui en a été faite par A. Burkart (1976). Les variétés autrefois reconnues : *Prosopis juliflora* var. *glandulosa* ("Honey Mesquite") originaire du Texas et du Mexique, *P. juliflora* var. *velutina* originaire de l'Arizona, constituent maintenant des espèces distinctes, tandis que le nom de *Prosopis chilensis* qui avait un moment remplacé celui de *Prosopis juliflora* désigne désormais une espèce distincte, se rencontrant notamment dans la région de Santiago du Chili — ce qui inciterait à l'essayer systématiquement dans la zone méditerranéenne.

Dans la quarantaine d'espèces américaines reconnues par Burkart, on peut indiquer les suivantes comme susceptibles d'intérêt pour les zones tropicales et méditerranéennes d'Afrique :

Prosopis affinis : Paraguay, est de l'Argentine au nord de Buenos Aires, extrême sud-ouest du Brésil, ouest de l'Uruguay. Forme des forêts claires sous lesquelles l'herbe peut pousser;

P. alba : des plaines de l'Argentine subtropicale à l'Uruguay, au Paraguay et au sud de la Bolivie, jusqu'au Pérou;

P. chilensis : se trouve du Pérou et de la Bolivie au Chili central et au nord-ouest de l'Argentine;



Prosopis sp. âgés de 10 ans, île de Maio, Cap-Vert. Au premier plan, *Parkinsonia aculeata*. La nappe phréatique est à 11 mètres de profondeur.

P. glandulosa (var. *glandulosa* et *torreyana*) : sud-ouest des États-Unis, Mexique. C'est le "Honey Mesquite", honni par les éleveurs texans en raison de son agressivité que nous serions plutôt enclins à considérer en Afrique comme une qualité;

P. juliflora : l'espèce telle que maintenant reconnue est originaire des zones côtières tropicales du nord-ouest de l'Amérique du Sud (Venezuela, Colombie), de Panama, de l'Amérique centrale jusqu'au Mexique, et des Antilles. Ce n'est donc sans doute pas la plus intéressante pour les régions considérées ici;

P. nigra : sud de la Bolivie, Argentine, Paraguay, ouest de l'Uruguay. Espèce de grande importance économique dans son aire naturelle;

P. pallida : régions sèches et côte pacifique du Pérou, de la Colombie et de l'Équateur; introduit et naturalisé dans un certain nombre de pays, notamment à Hawaï;

P. pubescens : sud-ouest de l'Amérique du Nord, de la Basse-Californie au Chihuahua au Mexique, et de la Californie au Texas aux États-Unis. Naturalisé en Afrique du Sud;

P. ruscifolia ("Vinal") : cette espèce se trouve de la région du Gran Chaco, de l'est de la Bolivie et du Paraguay au centre-nord de l'Argentine, où son caractère envahissant la fait considérer comme extrêmement indésirable dans les régions d'élevage ("plaga nacional");

P. tamarugo : le Tamarugo est une espèce limitée aux régions désertiques du Nord Chili, apte à pousser littéralement à travers une croûte de sel

et à absorber l'humidité de l'air dans ces régions où elle est très élevée. On l'emploie au Chili pour créer des peuplements fourragers, capables de nourrir 16 moutons à l'hectare. Il mérite certainement d'être essayé là où l'on a des terrains salés, avec une nappe souterraine permanente ou une forte humidité atmosphérique (Cap-Vert, Somalie, etc.);

P. velutina : États nord-ouest du Mexique, Arizona.

Les divers *Prosopis* du groupe "mesquite" ou "algarrobo" se rencontrent à des altitudes de 0 à 1 500 mètres, sous des pluviométries variant de 150 à 700 mm. Ils sont très résistants à la sécheresse, bien que ce caractère présente des variations suivant les espèces et les écotypes, de même que la résistance au froid qui est souvent assez faible. La croissance est rapide, mais se ralentit après 10 ans; l'arbre atteint une hauteur de 8 à 10 mètres en conditions favorables, davantage même pour certaines espèces.

Les *Prosopis* sont peu exigeants vis-à-vis du sol, et poussent sur des sols très variés, y compris des sols rocailleux ou salins, ou des sables meubles très pauvres. Ils ont un grand pouvoir de stabilisation des sables, et peuvent être utilisés pour la fixation des dunes. Toutefois ils ne tolèrent pas les sols mal drainés, ou présentant une dalle rocheuse ou latéritique à faible profondeur, empêchant la pénétration des racines.

Ils se régénèrent facilement par graines, surtout lorsque celles-ci sont passées par le tube digestif des animaux qui consomment les gousses tombées à terre. Ils se montrent même envahissants lorsque les conditions de sol et d'humidité leur sont trop favorables, comme cela se produit dans les régions de ranching aux États-Unis, où le "Honey Mesquite" (*P. glandulosa*) est considéré comme une espèce hautement indésirable. Ils rejettent de souche avec vigueur, et se multiplient également par drageons.

La croissance des *Prosopis* peut être très rapide si les conditions sont favorables, par exemple s'il y a une nappe phréatique permanente que leurs racines peuvent atteindre jusqu'à une profondeur excédant très largement 10 mètres (le record serait de l'ordre de 50 mètres).

Ils fournissent l'un des meilleurs bois de chauffage et de carbonisation pour les régions considérées. Les sujets âgés peuvent atteindre un diamètre de 50 cm à 1 mètre, et fournir des bois d'oeuvre de faible longueur. Le bois est dur et lourd, très résistant à l'usure et aux altérations, ce qui le rend intéressant par exemple pour les pieux de clôture, les traverses de chemin de fer, les parquets, et même le pavage des rues.

Les gousses, riches en glucides, sont très appréciées par le bétail, et constituent un fourrage concentré d'une grande valeur. Par contre le feuillage de la plupart des espèces ou variétés, riche en tanin, n'est généralement pas consommé par les animaux, ce qui pour le reboiseur représente un avantage appréciable que l'on ne retrouve que dans peu d'autres essences (*Tamarix* par exemple). Le feuillage persistant dense des *Prosopis* en fait de bons arbres d'ombrage. On les utilise aussi, à forte densité de plantation, pour constituer des haies et des brise-vent.

Le *Prosopis* commence à fructifier entre 2 et 4 ans, et produit ensuite régulièrement des gousses tous les ans. Les gousses peuvent être ramassées à terre ou récoltées sur l'arbre. Il y a entre 350 et 500 gousses par kg,



La chèvre est tout autant que la gazelle friande du feuillage de l'Acacia tortilis, essentiel pour son alimentation en saison sèche. Sheikh es Siddiq, Soudan. Photo Gunnar Poulsen.

contenant de 6 000 à 9 000 graines; 1 kg de graines décortiquées contient de 15 000 à 30 000 graines.² Le stockage des semences peut se faire sous la forme de gousses cassées par segments, avec addition d'insecticide pour éviter les attaques de charançons. Les graines se conservent ainsi 2 ans.

Il est assez difficile d'extraire les graines des segments de gousses dans lesquels elles sont enfermées. On a préconisé à cet effet diverses méthodes, telles que le trempage dans la soude ou dans l'acide chlorhydrique dilués, ou plus simplement le pilonnage à l'aide d'un pilon traditionnel. Toutefois cette extraction n'est pas indispensable, mais il faut prétraiter les graines avant le semis. Pour cela la méthode la plus pratique consiste à jeter les segments de gousses dans de l'eau bouillante que l'on a retirée du feu, et dans laquelle on les laisse ensuite tremper pendant 24 heures. On a également préconisé le

²Ces chiffres, indiqués dans Bois et Forêts des Tropiques (1962) pour l'espèce "*Prosopis juliflora*", ne sont donnés ici qu'à titre indicatif et sous toutes réserves; ils varient certainement beaucoup selon les espèces et provenances.

trempage dans l'acide sulfurique concentré, mais outre les difficultés que l'on peut avoir à s'en procurer cette méthode peut être dangereuse (brûlures par éclaboussures d'acide lorsqu'on verse de l'eau dans l'acide concentré); elle est cependant utilisée couramment au Soudan.

Les graines non traitées ont un pouvoir germinatif de 40 à 60 %; il peut atteindre 90 % pour les graines traitées.

Une méthode originale de prétraitement des graines de Prosopis, qui a été employée au Soudan et en Inde, consiste tout simplement à faire consommer les gousses par des chèvres, qui restituent dans leur déjections des graines dont le pouvoir germinatif est amélioré par l'action des sucs digestifs.

On peut dans certains cas installer les Prosopis par semis direct, mais on utilise en général des plants âgés de 4 à 5 mois, élevés dans des sachets de polyéthylène. A Nouakchott on a utilisé pour l'élevage des plants destinés à la "Ceinture verte" des pots en carton dits "pots fertiles" ou "Jiffypots", qui sont plus coûteux que les sachets de polyéthylène mais qui donnent d'excellents résultats; les éléments fertilisants incorporés dans la paroi des pots permettent de semer dans du sable pur, et on plante en enterrant simplement le pot qui se désagrègera ensuite dans le sol.

On préconise parfois la plantation en stumps, avec des plants de 2 ans de 1,5 à 2,5 cm de diamètre, auxquels on laisse 2 à 3 cm de tige et 25 cm de racine, mais cette méthode paraît avoir été peu employée. En raison de sa simplicité elle mériterait d'être essayée systématiquement, bien qu'en principe la plantation en mottes soit généralement préférable dans les zones arides. Pour les sols sableux la plantation profonde, en enterrant une certaine longueur de tige, pourrait sans doute donner des résultats intéressants.

Des essais effectués en Inde avec des stumps repiqués ont montré que la taille optimale était de 17,5 cm de racine et 2,5 cm de tige, avec un diamètre au collet de 1,5 cm, la durée de reprise des stumps étant alors la plus courte et leur pourcentage de survie maximum, bien que la croissance ultérieure soit indépendante de leur taille initiale.

On préconise comme espacement de plantation de 3×3 m à 6×6 m, selon l'aridité de la station. Il semble que dans le cas où l'alimentation en eau des arbres se fera surtout par une nappe profonde il soit préférable d'adopter des écartements plus grands, de 8×8 m à 10×10 m ou même davantage, de façon à avoir un plus petit nombre d'arbres très vigoureux et productifs.

Les Prosopis ont donné des résultats extrêmement variables selon les pays où on les a essayés, ce qui était souvent dû à un mauvais choix des terrains, mais même dans des conditions apparemment favorables (exemple : sols dunaires du Darfour et de Kordofan) on a enregistré des échecs. La provenance des semences joue certainement un très grand rôle. C'est ainsi qu'au Soudan on a constaté la présence de plusieurs variétés distinctes, fleurissant et fructifiant à des saisons différentes, alors que l'on croyait avoir affaire à une provenance unique. Dans l'île de Maio (Cap-Vert), la différence de croissance entre les deux variétés (au moins) qui y ont été introduites est très frappante. L'humidité atmosphérique joue probable-

ment un rôle important, et pourrait expliquer certains échecs dans les régions sahéliennes éloignées de la mer; la bonne croissance du *Prosopis* dans la région de Khartoum peut être due au fait que l'on a affaire à des provenances continentales très xérophiles.

En Afrique du Nord les *Prosopis* n'ont fait l'objet que d'essais assez timides. Il semble que des provenances de l'extrême nord de leur aire naturelle (Arizona, Texas) ainsi que de l'extrême sud (*P. chilensis* de la région de Santiago) devraient y donner de bons résultats.

D'une manière générale, il est hautement souhaitable de procéder dans chaque pays de la région considérée à des essais systématiques de provenances de *Prosopis*. Il semble que les tentatives faites dans ce sens dans le passé aient échoué en raison de la difficulté de se procurer des semences de diverses régions de l'aire naturelle des *Prosopis* américains. Un programme d'essais à l'échelle d'une quinzaine au moins de pays africains aurait certainement beaucoup plus de chances d'être mené à bien.

Prosopis cineraria (*P. spicigera*)

Prosopis cineraria est une espèce originaire de l'Inde et du Pakistan, encore plus résistante à la sécheresse que les *Prosopis* américains, et également plus résistante au froid. Il a un enracinement puissant, susceptible de traverser des horizons indurés et d'aller chercher l'eau dans les couches profondes du sol, jusqu'à une profondeur pouvant excéder 35 mètres.



Cela donne un beau tas de bois de chauffage, quand d'aventure le vent renverse un de ces pieds de *Prosopis*.

P. cineraria fournit des gousses fourragères, contenant 20 % de protéines brutes, et un feuillage apprécié par le bétail. Il améliore les sols, sans concurrencer les cultures agricoles. C'est en raison de ces avantages une espèce très importante pour les zones arides d'Afrique, son unique inconvénient étant la lenteur de sa croissance.

***Tamarix aphylla* (*T. articulata*)**

Tamarix aphylla se rencontre dans les zones arides d'Afrique du Nord, du Moyen-Orient et du Nord-ouest de l'Inde. C'est un arbre qui peut atteindre 15 mètres de hauteur. Il pousse dans des sols très variés, depuis des sols sableux qu'il affectionne jusqu'à des sols salés dans des dépressions. C'est une essence particulièrement intéressante en raison de son extrême résistance à la sécheresse, de sa tolérance au sel, de la facilité de sa multiplication par boutures, et de sa rapidité de croissance en conditions favorables. C'est également une des rares essences ligneuses pouvant être utilisées tant au nord qu'au sud du Sahara.

Le bois de *Tamarix* est blanc, dur, durable. Il est considéré par les forestiers israéliens comme un excellent bois de menuiserie, tandis que dans d'autres pays on lui reproche de se fendre et gauchir au séchage. C'est également un très bon bois de chauffage.

Tamarix aphylla convient particulièrement bien pour la création de brise-vent et pour la fixation et le reboisement des dunes, souvent même sans autres travaux ou plantations de protection. Il est très facile à installer par boutures. Celles-ci doivent avoir un diamètre d'au moins 1,5 à 2 cm au fin bout. En République démocratique et populaire du Yémen et en Égypte on utilise des boutures longues, jusqu'à 1,50 m pour le sommet des dunes, que l'on plante à l'aide d'une tarière. La partie inférieure de la bouture est ainsi en contact avec les couches profondes de sable, qui conservent leur humidité même en pleine saison sèche. On a ainsi obtenu, avec arrosages complémentaires, des plants de 70 à 105 cm de hauteur en 100 jours.

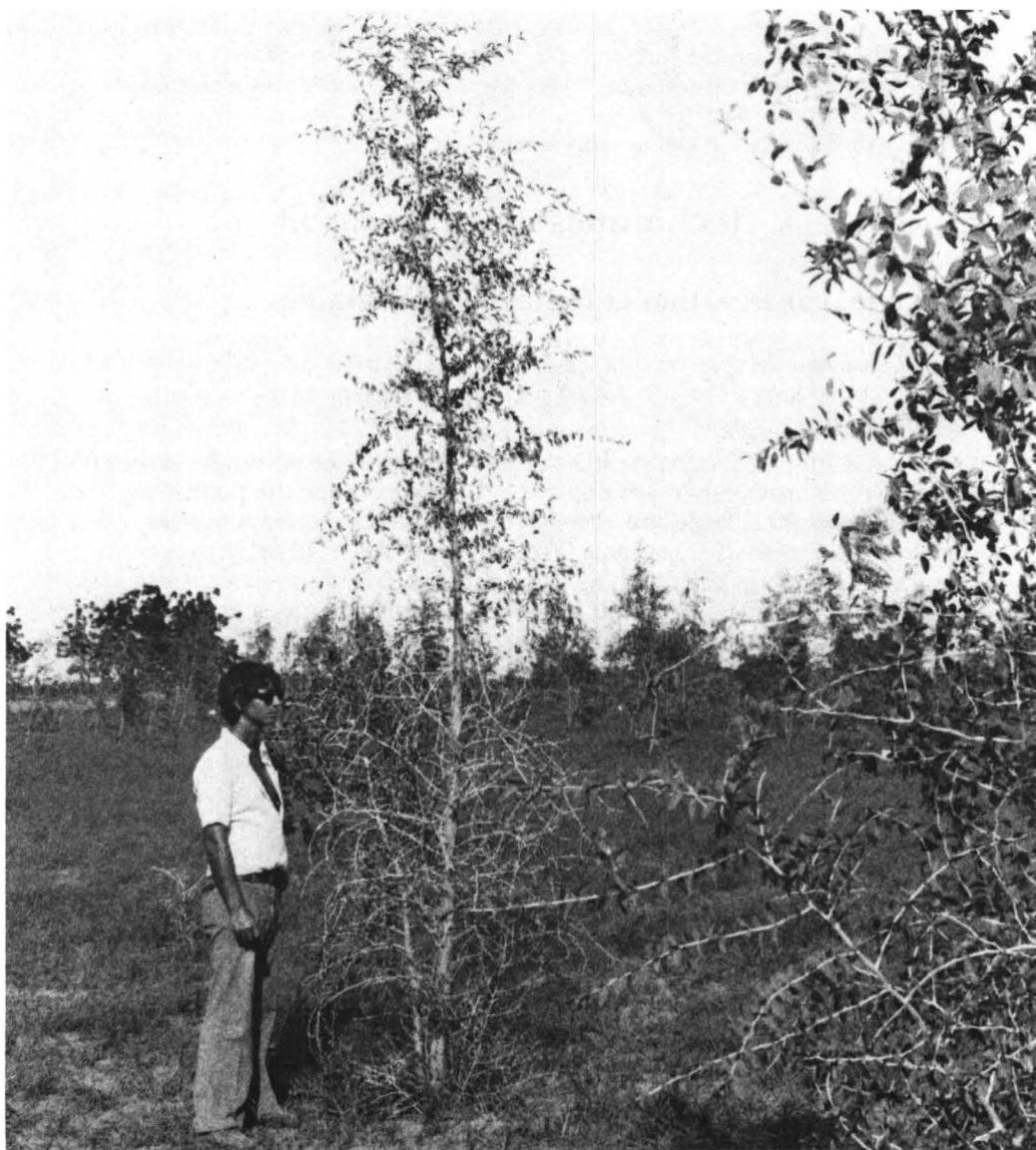
Dans la zone sahélienne *T. aphylla* est à réserver aux zones à nappe phréatique élevée, telles que les bordures de cours d'eau, ainsi qu'à la constitution de brise-vent en terrains irrigués. Au Soudan on rencontre le long des cours d'eau une espèce voisine, *Tamarix nilotica*.

Tamarix gallica

C'est une espèce de plus petite taille que *T. aphylla*, ne dépassant pas 6 à 9 mètres de hauteur, et plus souvent buissonnante. Elle peut être employée pour la fixation des dunes jusqu'en bordure de mer, mais on lui préfère généralement *T. aphylla* en raison de son plus grand développement.

Tamarix stricta

Cette espèce originaire du golfe Persique y a donné des résultats extrêmement encourageants dans les plantations de dunes, et mérite certainement d'être essayée systématiquement ailleurs.



Les *Ziziphus* spp. poussent vite si les conditions leur sont favorables. Ici, *Ziziphus spina-christi* âgé de 2 ans à Niamey, Niger (pluviométrie annuelle moyenne 550 mm).

***Ziziphus* spp.**

Ziziphus jujuba produit la jujube comestible. Un certain nombre d'autres espèces se rencontrent dans les zones arides d'Afrique et d'Asie, telles que *Z. spina-christi*, *Z. mauritiana*, *Z. nummularia*, etc. Elles peuvent être intéressantes dans des conditions très difficiles, en raison de leur grande résistance à la sécheresse. Leur croissance peut dans certains cas être rapide, lorsqu'elles bénéficient d'un bon approvisionnement en eau.

Techniques de reboisement

Récolte, conservation et traitement des graines

Il y a peu de chose à dire à cet égard en ce qui concerne les zones très arides, pour lesquelles il n'y a en règle générale pas de difficultés particulières.

La récolte, se faisant le plus souvent sur des arbustes ou des arbres de hauteur modeste, est en général aisée. Il est recommandé, pour avoir une germination plus facile, de récolter les graines de certains acacias avant maturité complète des gousses. C'est ainsi que des essais effectués en Inde ont montré que la germination des graines d'*Acacia senegal* était optimale lorsque la récolte avait lieu 10 jours après l'apparition des gousses vertes garnies de graines, au moment où leur couleur commence à virer au bronze. On a également intérêt à récolter les semences d'*Acacia albida* avant lignification des gousses.

La conservation des graines ne présente généralement aucun problème particulier. Parmi les espèces mentionnées seules *Azadirachta indica* et *Haloxylon* spp. ont des graines qui perdent rapidement leur pouvoir germinatif, et doivent être semées immédiatement après la récolte. Les graines dures de légumineuses (*Acacia* spp., *Prosopis* spp., etc.) peuvent se conserver pendant plusieurs années.

Prétraitement des graines : la méthode de prétraitement la plus simple consiste à jeter les graines dans de l'eau bouillante que l'on a retirée du feu, et dans laquelle on les laisse tremper pendant 12 à 24 heures. Cette méthode s'applique aux semences d'*Acacia* et de *Prosopis*. Il faut éviter d'employer une trop grande quantité d'eau, ce qui pourrait entraîner la cuisson et la mort des semences; on conseille de 2 à 3 fois le volume apparent des graines.

Reproduction végétative : les *Tamarix* sont pratiquement toujours multipliés par boutures, ainsi qu'il a déjà été mentionné à propos de ces essences au chapitre précédent.

Semis direct

Le semis direct est une méthode tentante par sa simplicité et son faible coût. On l'a employé notamment au Soudan pour la régénération des peuplements d'*Acacia senegal* après culture agricole. C'est cependant une méthode d'autant plus aléatoire que l'on se trouve dans des zones plus sèches, et l'économie initiale réalisée par le semis direct peut alors être annihilée par les échecs parfois totaux enregistrés lorsque la pluviométrie est insuffisante pour assurer un bon départ des semis. Par ailleurs il est psycho-

logiquement plus difficile d'assurer la protection d'un terrain ensemencé par semis direct que celle d'un terrain planté à l'aide de plants élevés en pépinière.

Il est malgré tout souhaitable de ne pas condamner sans appel le semis direct, et de chercher à l'appliquer chaque fois que cela est possible. Une méthode particulière de semis direct est celui pratiqué par les animaux domestiques et autres, qui consomment les gousses de *Prosopis* et d'*Acacia* et disséminent ensuite les graines dans leurs déjections. Le passage des graines dans le tube digestif des ruminants constitue un prétraitement très efficace, qui favorise la germination. En Argentine, où *Prosopis ruscifolia* est une espèce envahissante redoutée, on met en quarantaine pendant 48 heures les animaux ayant pâturé dans une zone infestée de "vinal", avant de les envoyer sur les pâturages indemnes.

Pépinières

Il y a peu à ajouter, en ce qui concerne l'établissement des pépinières et les techniques d'élevage des plants, aux publications récentes disponibles, notamment Laurie (FAO 1975), et surtout Goor et Barney (1976) qui leur consacrent une certaine de pages soit plus de 20 % du volume de cet ouvrage. Tout au plus ferons-nous ici un certain nombre de remarques en ce qui concerne les conditions particulières des zones très arides.

Les plantations forestières qui nous intéressent ici représentant dans la plupart des cas des projets à échelle modeste, à la réalisation desquels les populations locales doivent être étroitement associées, on cherchera à créer des pépinières de faibles dimensions, à l'échelle d'un village par exemple. Les moyens techniques mis en oeuvre seront également modestes, par exemple l'arrosage se fera à l'aide d'arrosoirs ou, si l'on dispose d'eau sous pression, de tuyaux souples munis de jets appropriés.

La plantation se fera rarement à racines nues, mais plus généralement on utilisera des plants élevés en récipients. Le sachet de polyéthylène a détrôné presque partout les autres types de pots. Il faut dans chaque cas déterminer, par des essais comparatifs, quelle est la meilleure taille de sachets à adopter; ce sera le meilleur compromis entre deux exigences opposées : d'une part assurer aux racines des plants un volume de terre suffisant pour un bon développement, sans enroulement et formation de "pelotes", d'autre part réduire le plus possible le poids des plants à transporter, qui varie en fonction du carré du diamètre (ou de la circonférence) des sachets : par exemple, 25 cm de circonférence \times 25 cm de hauteur donnent un poids approximatif de terre de 1 800 g, 25 \times 15, 1 075 g, et 15 \times 15, 390 g.

L'expérience a montré qu'il ne fallait pas dépasser pour les sachets de polyéthylène une hauteur de 25 cm, au-delà de laquelle on constate une baisse du taux de survie des plants, sans que l'on ait pu en donner une explication satisfaisante.

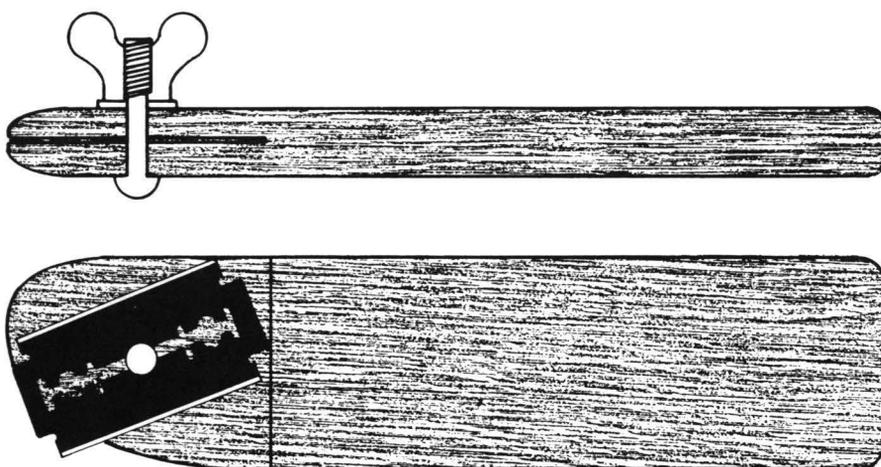
Le pot de terre crue, confectionné à l'aide d'un équipement simple tel que ceux mis au point au Brésil ("terrao paulista") ou au Maroc, peut être

une méthode intéressante. On l'emploie couramment au Soudan pour *Acacia senegal*.

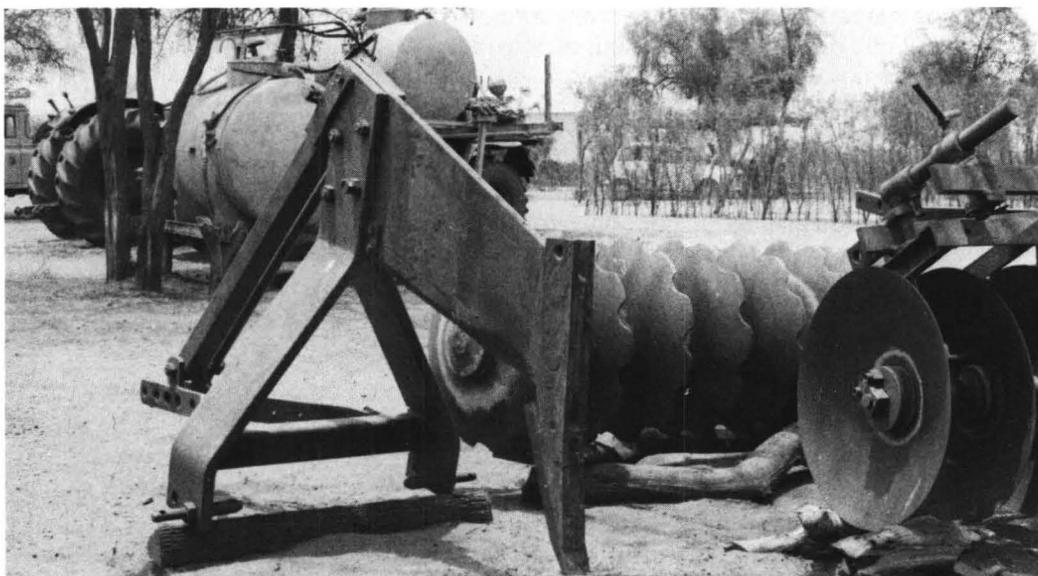
Certaines essences peuvent être plantées sous forme de stumps ou de striplings, bien que dans les zones considérées il semble préférable d'utiliser des plants en mottes, qui ont une meilleure reprise. Une méthode de préparation des stumps qui a donné de bons résultats avec le teck au Soudan consiste, au lieu de placer les plants sur un billot, à les tenir à la main et à "habiller" les racines à l'aide d'une machette légère très bien affûtée, puis à couper la tige de la même façon; on évite ainsi de faire éclater l'écorce, ce qui arrive fréquemment lorsqu'on emploie un billot — et une machette mal affûtée. Cette méthode vaut aussi, évidemment, pour la préparation des striplings et des boutures.

Un point auquel on prête souvent trop peu d'attention est l'âge des plants. On a souvent tendance à mettre en place des plants trop âgés, beaucoup plus rarement des plants trop jeunes.

Lorsqu'on utilise des plants élevés en sachets de polyéthylène, il faut veiller à ce que les ouvriers planteurs enlèvent bien le sachet au moment de la mise en place. La meilleure méthode consiste — après évidemment enlèvement du fond s'il y en a un — à fendre le sachet suivant 3 génératrices à l'aide d'une lame de rasoir, de façon à sectionner les racines qui auraient pu s'enrouler à la périphérie. Un instrument pratique et facile à confectionner consiste en un manche en bois de section aplatie, présentant à son extrémité une fente dans laquelle on insère la lame de rasoir que l'on serre à l'aide d'un écrou à oreilles, ne laissant dépasser qu'un angle du tranchant.



Couteau pour fendre les sachets de polyéthylène.



Pour la préparation des sols sableux légers : sous-soleuse et pulvérisateur à disques à monter sur tracteur à roues de moyenne puissance.

Préparation du terrain

Il est d'autant plus important d'éliminer la concurrence de la végétation spontanée que le terrain est plus aride. Le défrichage se fera, dans les régions qui nous intéressent, le plus souvent manuellement, du moins le dessouchement de la végétation ligneuse. Il faudra dans chaque cas prendre en considération les risques d'érosion éolienne et pluviale résultant du défrichage; celui-ci pourra éventuellement se faire par bandes, en conservant la végétation naturelle sur des bandes de protection à certains intervalles, suivant les courbes de niveau ou perpendiculairement aux vents dominants, selon que le danger vient principalement du ruissellement des eaux de pluie ou de l'érosion par les vents forts.

Le deuxième point important est de faire infiltrer et retenir dans le sol la plus grande proportion possible des eaux de pluie. Les méthodes employées sont bien connues et décrites dans de nombreux ouvrages : banquettes et gradins de D.R.S. (défense et restauration des sols), méthode steppique, cette dernière requérant d'importants moyens mécaniques. Une méthode simple et efficace est celle des bourrelets en croissant, disposés en quinconce suivant la pente de façon à intercepter toutes les eaux de ruissellement et à les concentrer dans la cuvette de plantation située à la partie basse du croissant.

La méthode dite des "grands potets" est assez coûteuse et a souvent donné des résultats peu satisfaisants, c'est pourquoi on tend à l'abandonner dans certains pays.

Dans les sols sableux légers, qui seront souvent les plus intéressants à reboiser, le sous-solage donne d'excellents résultats. A Mbiddi (Nord Séné-

gal) on pratique un sous-solage croisé à l'aide d'un tracteur à roues de 64 CV, portant une dent sous-soleuse qui pénètre à 60 cm, et on plante à l'intersection des raies de sous-solage. Dans un sol plus compact, ou présentant un horizon induré, il faudrait une puissance de traction très supérieure. On constate que même dans des sols de texture grossière, paraissant à première vue très perméables, on a en général un tassement ou un glaçage du sol en surface qui diminue considérablement l'infiltration même sur des pentes faibles. Le sous-solage a alors un effet très marqué. C'est une méthode à retenir, même pour des projets d'importance relativement modeste, lorsqu'on peut se contenter d'employer un tracteur à roues de moyenne puissance, qui pourra d'ailleurs être utilisé à d'autres tâches telles que le sarclage par pulvériser à disques.

Plantation

Un point délicat est la détermination exacte de la période favorable pour la mise en place des plants, qui dans les zones très arides est généralement très courte, n'excédant souvent pas 2 semaines en zone sahélienne. On a très souvent tendance à retarder la plantation pour attendre que les pluies soient "bien établies" ou que le sol soit humide jusqu'à une profondeur de 30 cm ou plus; cela a surtout pour résultat de raccourcir la période de végétation active des plants avant l'arrivée de la saison sèche. Au nord du Sahara les pluies sont plus aléatoires, par contre elles tombent à la saison fraîche où l'évapotranspiration est moins élevée et la végétation moins active, ce qui accroît les chances de survie des plants et donne une latitude un peu plus grande pour le choix de la date de plantation.

Pour se prémunir contre le risque de mortalité des jeunes plants par suite d'une période sèche plus ou moins longue suivant la plantation, on peut recommander d'utiliser des plants pas trop grands qui consommeront moins d'eau, et d'humidifier au maximum la terre des sachets de polyéthylène avant la plantation, par exemple en les trempant dans un seau d'eau.

Dans la Rift Valley en Éthiopie, on a obtenu de bons résultats en appliquant une dose d'engrais NP de 50 g par plant, qui stimule le développement rapide des racines.

Dans les sols de dunes on peut avoir intérêt à pratiquer une plantation profonde, comme en Israël où l'on emploie des plants d'*Acacia cyanophylla* de 70 cm de haut que l'on enterre à 60 cm de profondeur, ne laissant dépasser en surface que le sommet de la tige. La plantation profonde est également utilisée pour les boutures de Tamarix (voir Techniques de plantation p. 43).

L'espacement des plants doit en règle générale être d'autant plus grand que le climat est plus aride. On hésite toujours à adopter de grands écartements, mais les essais comparatifs effectués à Mbididi (Nord Sénégal) tendent à montrer que l'écartement idéal, pour l'*Acacia senegal* et les autres essences qui y sont employées, serait d'au moins 6 × 6 m, et plus probablement de 8 × 8 m. Dans des conditions encore plus arides, des écartements plus grands seraient sans doute recommandables. Il est illusoire de vouloir à tout prix couvrir le sol le plus rapidement possible par une plantation dense, quitte à pratiquer ensuite des éclaircies. La concurrence entre les arbres pour

l'eau disponible dans le sol est alors trop vive, et leur développement s'en ressent fortement, sauf pour ceux situés en bordure. Il vaut mieux assurer aux arbres, dès le début, un grand volume de sol que leurs racines occuperont très rapidement, et avoir un plus petit nombre par hectare de sujets vigoureux dont la croissance sera beaucoup plus rapide.

La question de l'arrosage

Pour parer aux aléas de la sécheresse, on est évidemment tenté d'envisager un arrosage des plantations pour permettre aux jeunes arbres de passer le cap de la première saison sèche, après quoi ils devraient se tirer d'affaire par eux-mêmes. Malheureusement, outre le coût souvent prohibitif d'une telle opération, et les disponibilités en eau souvent insuffisantes, il n'est pas du tout sûr qu'elle donne le résultat escompté. En effet, surtout avec des apports d'eau peu abondants mais répétés, ce qui est souvent la règle, les jeunes arbres ont tendance à développer un chevelu de racines à faible profondeur pour utiliser l'eau des arrosages, au lieu d'un pivot puissant capable d'aller chercher l'eau des couches profondes du sol, de plus en plus profond au fur et à mesure que l'on avance dans la saison sèche — souvent plusieurs mètres dès la première année. Il en résulte qu'ils dépérissent dès qu'on arrête l'arrosage, et qu'il faudra poursuivre celui-ci à intervalles de quelques jours pendant toute la saison sèche, voire pendant les suivantes, sans même être assuré du succès final.

Afin d'éviter cet écueil, il est préférable d'arroser abondamment au moment de la plantation, qui pourra même alors se faire avant les premières pluies. On se rapproche ainsi davantage des conditions d'une année de pluies abondantes et prolongées, permettant la régénération des espèces spontanées.

Dans le même esprit, A. Monjauze a proposé pour les zones arides d'Algérie une méthode de plantation qu'il appelle "méthode toute saison", et qui est un perfectionnement de la méthode dite "par potets masqués". Cette dernière consiste à recouvrir le sol autour du plant, sur un rayon de 50 cm, avec de l'herbe et des débris végétaux formant un paillage ou "mulch" de quelques centimètres d'épaisseur, que l'on recouvre ensuite avec des pierres jointives formant un masque de protection contre l'évaporation, tout en assurant une bonne aération du sol. Il faut prendre soin de protéger le jeune plant du contact avec les pierres, au moyen d'un manchon fait d'un tortillon de végétation morte. Une fois le masque terminé il est bordé et colmaté sur son pourtour par la terre qui reste disponible.

Pour en venir à la "méthode toute saison", elle consiste à verser au fond du trou de plantation une petite quantité (3 litres environ) d'une boue très fluide et bien malaxée, préparée dans un seau ou une brouette métallique. Le rôle de la boue est double : elle permet un contact intime entre les racines du plant et la terre du potet, et elle apporte une provision d'humidité qui assure une reprise immédiate. Cette méthode doit être appliquée avec soin et avec discernement; il faut notamment se garder d'employer une terre trop argileuse, qui en se desséchant se transformerait en une masse compacte. Mais dans les conditions de la zone steppique d'Afrique du Nord elle permet

de démarrer la plantation très tôt à l'automne, avant même que les pluies n'aient commencé, et par conséquent de la terminer plus tôt, avant que le froid ne vienne compromettre la reprise des plants avant l'hiver.

Entretien des plantations

Regarnis. Il sera souvent difficile de les effectuer au cours de la même saison de plantation, étant donné la courte durée de celle-ci, à moins que l'on ait la possibilité d'arroser les plants au cours de la saison sèche — avec les inconvénients signalés ci-dessus.

Dés herbages. Le désherbage et le binage du sol ont pour objet de conserver le plus d'eau possible dans le sol à la disposition des plants forestiers, en limitant la concurrence des adventices et l'évaporation.

Le premier binage pourra avoir lieu de 2 à 6 semaines après la plantation, selon la rapidité de pousse de l'herbe, et être répété ensuite une ou deux fois de façon à maintenir la surface du sol libre de toute végétation. Ces entretiens se poursuivront pendant les 2 ou 3 premières années.

Il faut insister sur la nécessité d'un désherbage complet, en effet la concurrence de l'herbe vis-à-vis des jeunes arbres se fait sentir jusqu'à une distance de 2 mètres ou plus dans les régions à longue saison sèche, et un désherbage par bandes ou par placeaux ne serait pas suffisant.

Élagage, éclaircie. On devra élaguer les arbres destinés à fournir des perches, et a fortiori du bois de sciage, de façon à obtenir un fût net de branches et de forme plus cylindrique. Pour les plantations destinées à fournir uniquement du bois de chauffage c'est une dépense inutile, et pouvant même présenter des inconvénients, par exemple en permettant la pousse de l'herbe jusqu'au voisinage du tronc, ce qui accroît la concurrence pour l'eau et les dangers de dommages dus au feu.

Dans les zones très arides il est préférable comme nous l'avons dit plus haut de planter à large écartement, qui correspondra souvent à l'écartement définitif, supprimant ainsi toute nécessité d'éclaircies ultérieures.

Plantations d'*Acacia senegal*

Nous décrivons seulement brièvement ici le système traditionnel pratiqué au Soudan dans la zone du gommier ou "hashab" ("Gum Belt"), qui s'étend au Darfour et au Kordofan entre les isohyètes 250 et 500 mm, soit en gros entre le 12^e et le 14^e parallèles Nord (du moins sur sols sableux, plus au sud dans le cas des sols argileux que l'on rencontre surtout à l'est du Nil).³

Les paysans de ces deux provinces défrichent le peuplement existant d'*Acacia senegal*, et cultivent pendant 4 à 6 ans, principalement le mil et l'arachide, après quoi la parcelle est abandonnée et le hashab s'y régénère naturellement, surtout par rejets des souches restées en terre, mais également par semis naturels et drageons. Au bout de 3 à 4 ans on commence à récolter la gomme sur les arbres qui ont alors 2 à 3 mètres de hauteur. Le maximum de récolte se situe entre 7 et 10 ans. A un âge du peuplement se situant entre 10 et 15 ans on défriche à nouveau, et le cycle recommence, la durée totale de la rotation étant normalement de 15 à 20 ans.

Avec l'accroissement de la population et les besoins accrus de terres cultivables qui en résultent, toutefois, la durée de la jachère boisée ("bush fallow") a tendance à diminuer, ce qui entraîne une baisse catastrophique de la fertilité des terres, dont il faut souvent cultiver une superficie de 4 à 6 fois plus grande qu'il y a seulement quelques années pour obtenir une même récolte. Par ailleurs le raccourcissement de la jachère boisée a pour effet de nuire à la régénération de l'*Acacia senegal*, qui est alors remplacé par *Calotropis procera* et *Guiera senegalensis*, espèces de faible valeur même comme bois de chauffage.

Dans d'autres zones qui ont été abandonnées par les cultivateurs par suite de la disparition des ressources en eau, les peuplements de gommiers suragés ne se régénèrent pas et finissent par disparaître, la longévité d'*Acacia senegal* n'excédant en général pas 25 à 30 ans.

Récolte et conservation des graines

Comme nous l'avons déjà indiqué plus haut, des essais effectués en Inde ont montré qu'on avait une germination optimale en récoltant les semences d'*Acacia senegal* 10 jours après l'apparition des gousses vertes garnies de graines, au moment où leur couleur commence à virer au bronze.

³La plus grande partie des éléments d'information utilisés dans la rédaction de ce chapitre ont été fournis par Sayed Abul Gasim Seif El Din, ancien "Gum Research Officer" à El Obeid (Kordofan), que nous tenons à remercier tout particulièrement pour sa précieuse collaboration.

Il convient en tous cas de ne pas attendre trop longtemps pour récolter les gousses, sinon elles s'ouvrent et perdent une grande partie de leurs graines. Les graines sont facilement séparées des gousses sèches par battage au fléau et vannage.

Acacia senegal fructifie en abondance, et il suffit d'un petit nombre d'arbres pour obtenir les semences nécessaires, ce qui est un point intéressant pour la sélection en vue d'une meilleure production de gomme. Cependant, il arrive que deux années de très forte fructification, qui se reproduisent normalement tous les 3-4 ans, se suivent, auquel cas l'année suivante sera une année de très faible production de graines. On a donc intérêt à récolter suffisamment de semences pour faire face à une année de pénurie, la conservation de ces semences pendant 2 ou 3 ans ne présentant pas de difficultés.

Les graines sont souvent infestées par diverses espèces de Bruchidés et doivent être traitées avec un insecticide avant le stockage, qui doit se faire dans un lieu sec ou dans des récipients étanches.

Prétraitement des semences

Les semences d'*Acacia senegal* ont un pouvoir germinatif élevé, et ne sont généralement pas traitées avant le semis. La germination est toutefois étalée dans le temps, de 2 à 30 jours en pépinière, 80 % des semences viables germant cependant dans les 15 premiers jours. Cette particularité semble



Acacia senegal planté en 1974, écartement 5 m × 5 m. Mbiddi, Nord Sénégal, juin 1978.

due à une capacité différente d'absorption de l'eau par les téguments des graines. Il en résulte que dans la nature les semences tombées sur le sol, ou mises en terre par semis direct, ont une germination étalée sur plusieurs mois, certaines ne germant même parfois que l'année suivante, ce qui assure à l'espèce une régénération moins aléatoire, les semis émergeant après les premières pluies pouvant être détruits s'il survient une période de sécheresse plus ou moins longue. On peut en conclure qu'il vaut mieux, dans le cas du semis direct, ne pas chercher à hâter la germination par un prétraitement des semences.

Semis direct

Le semis direct est utilisé au Soudan, où il donne de bons résultats, alors que les essais effectués en Afrique occidentale n'ont pas été encourageants (ce qui serait dû semble-t-il à une moins bonne perméabilité à l'eau des téguments des graines). On sème sur potets de $30 \times 30 \times 30$ cm, à un espacement de 4×4 m, à raison de 3 à 5 graines par potet. Dans les sols argileux on préfère semer, à intervalles de 4 mètres, dans des sillons de 15 à 20 cm de profondeur ouverts à la charrue à l'écartement de 4 mètres.

Il faut évidemment dépresser ensuite les plants, en n'en laissant qu'un seul par poquet.

Élevage des plants en pépinière

La plantation en stumps a été rapidement abandonnée au Soudan, donnant lieu à une mortalité trop élevée. On utilise donc des plants en mottes, élevés soit dans des tubes de polyéthylène soit dans des pots de terre crue ("soil blocks"), ces derniers étant considérés comme donnant de meilleurs résultats. Ces pots sont confectionnés au Soudan à l'aide d'une presse à main de fabrication locale. Ils sont cylindriques (alors qu'au Brésil et au Maroc on utilise un moule hexagonal); leur diamètre est de 5 cm, la hauteur de 15 cm, avec à la face supérieure un trou de 1 à 2 cm de profondeur dans lequel on sème les graines (2 par pot) en les recouvrant de 1 cm de sable. On emploie un mélange de fumier (1/8 à 1/3), de limon (3/8 à 1/3) et de sable fin (1/3 à 1/2). Le poids de chaque pot est d'environ 400 grammes. Les intervalles entre les pots sont remplis avec du sable pur.

Le semis, que ce soit en tubes de polyéthylène ou en blocs de terre crue, peut sans inconvénient se faire à l'avance. Au moment voulu, c'est-à-dire 2 à 4 mois avant la date prévue de plantation, on commence les arrosages, à raison de 2 par jour les 2 ou 3 premières semaines, puis 1 par jour.

Les plants atteignent à 2 mois une hauteur de 15 cm, avec une longueur de racine de 30 cm, et sont alors bons à planter. On préfère cependant des plants de 3 à 4 mois arrosés avec modération, qui ont un système racinaire mieux formé et sont plus résistants à la sécheresse. Il est indispensable dans ce cas d'habiller les racines, ce qui se fait en soulevant les pots un par un dans le cas des pots de terre crue, afin de sectionner non seulement la racine principale pivotante mais également les racines latérales qui ont souvent tendance à pousser dans les pots voisins.

Plantation et entretien

La plantation se fait au Soudan en cuvettes à l'espacement de 4×4 m, soit 625 plants à l'hectare, ce qui pour les zones à faible pluviométrie est sans doute trop serré et amène les plants à souffrir de la sécheresse lors des années de pluviosité déficiente, mais qui pour les zones plus favorables assure une bonne fermeture du couvert et une production optimale de gomme. A Mbiddi (Nord Sénégal), où l'on en est encore au stade expérimental, il semble que les meilleurs résultats soient obtenus, dans les conditions écologiques de cette station, avec de larges espacements, de l'ordre de 8×8 m, ce qui donne 156 plants/hectare. On plante sur raies de sous-solage croisées, à l'intersection des raies, sur un terrain défriché manuellement et labouré au pulvérisateur à disques. Cette méthode semble susceptible d'assurer une croissance rapide des acacias et une production précoce de gomme, dans les cas où l'on n'est pas trop limité par le terrain disponible.

Il importe d'assurer un bon entretien des plantations par des sarclages périodiques poursuivis pendant les 2 ou 3 premières années.

Production de gomme

La gomme arabique est formée par une exsudation résultant des lésions provoquées par la sécheresse, le soleil, le feu, ou des blessures causées par les insectes et autre animaux. Afin d'accroître la production de gomme, on inflige à l'arbre des blessures en arrachant sur le tronc et les branches des bandes d'écorce de 2 à 4 cm de large, 10 à 20 cm de long. Il se forme alors des nodules de gomme de 2 à 5 cm de diamètre, que l'on peut récolter 30 à 45 jours plus tard, et ensuite à intervalles de 1 à 2 semaines. Au cours d'une saison on peut faire ainsi de 4 à 6 récoltes de gomme.

Au Soudan on commence à gemmer les *Acacia senegal* 3 à 4 ans après l'abandon de la culture, lorsque les arbres ont 2 à 3 mètres de hauteur.

On a constaté que la production de gomme variait considérablement selon les individus et les provenances, c'est pourquoi on a entrepris une sélection systématique de l'*Acacia senegal*, qui assurera dans l'avenir une bien meilleure rentabilité des gomméraires artificielles.

Conclusion

La plantation artificielle d'*Acacia senegal* ne se justifie que dans certains cas particuliers :

(a) complément à la régénération naturelle dans un système culture agricole — jachère à gommier tel que celui pratiqué au Kordofan, système qui ne devrait d'ailleurs en règle générale pas être admis au nord de l'isohyète 400 mm;

(b) création de gomméraires en vue de la restauration de sols dégradés par le surpâturage, le piétinement du bétail et la culture autour des points d'eau, fournissant ainsi aux populations pastorales un complément de res-



Récolte de la gomme arabique. Région de Kaédi, Mauritanie.

sources dans un système de semi-sédentarisation (la sédentarisation totale des pasteurs nomades de la zone sahélienne, souvent prônée, étant une vue de l'esprit et une utopie dangereuse, comme le prouvent toutes les expériences malheureuses entreprises dans ce domaine).

En dehors de ces conditions particulières, les forestiers sahéliens sont généralement parvenus à la conclusion qu'il convenait surtout de protéger les régénérations naturelles lorsqu'elles apparaissent, ce qui n'est d'ailleurs pas sans poser des problèmes fonciers étant donné que l'*Acacia senegal* se comporte comme une essence pionnière, se régénérant difficilement sous son propre couvert; il en résulte que ces régénérations apparaissent généralement en dehors des gomméraires classées, ce qui va à l'encontre de la notion classique de "domaine forestier", héritée de la foresterie des zones tempérées, et qui a trop souvent encore cours dans les pays sahéliens.

Pour clore ce chapitre il ne paraît pas inutile de rappeler que les problèmes relatifs à l'*Acacia senegal* ont fait l'objet d'études poussées au Soudan, qui est de loin le premier pays producteur de gomme arabique, et où depuis 20 ans le Service forestier a créé un poste de "Gum Research Officer" à El Obeid, capitale du Kordofan. Il existe une abondante bibliographie sur le sujet, en langue anglaise, et le Forestry Research Institute, P.O. Box 658, Khartoum, Soudan, est susceptible de fournir toute information et toute documentation requises.

Fixation et reboisement des dunes

On distingue deux grandes catégories de dunes :

(a) les dunes maritimes, se formant le long des côtes à partir de sables déposés par la mer;

(b) les dunes continentales, dont le matériau sableux provient de la désagrégation des roches, ou encore de l'abrasion des sols sous l'effet de l'érosion éolienne. On les trouve principalement dans le Sahara, où elles occupent de vastes surfaces désignées sous le nom d'"ergs" : Grand Erg occidental et Grand Erg oriental dans le sud de l'Algérie et de la Tunisie, Erg du Ténéré au Niger, etc.

Si le climat n'est pas totalement désertique, ces dunes vives, laissées à elles-mêmes, sont tôt ou tard colonisées et stabilisées par une végétation spontanée constituée de végétaux psammophiles, qui fixent le sable par leurs racines et freinent sa progression en surface sous l'action du vent.

Si la végétation dunaire est détruite par suite du surpâturage, de l'extraction de bois de chauffage, et parfois de défrichement en vue de la culture, le sable peut être remis en mouvement et former à nouveau des dunes vives qui, progressant sous l'action des vents dominants (jusqu'à 1 mètre et plus par mois), peuvent menacer les installations humaines, oasis, périmètres d'irrigation, voies de communication, canaux, etc.

On peut affirmer que dans la très grande majorité des cas les problèmes créés par les dunes vives résultent de l'action de l'homme, et de la dégradation de dunes qui étaient auparavant fixées. La première mesure à prendre, avant d'entreprendre de coûteux travaux de fixation, est par conséquent de supprimer radicalement les causes de dégradation mentionnées plus haut, ce qui sera parfois suffisant pour obtenir une recolonisation et une fixation efficace par la végétation spontanée. Ce processus s'amorcera toutefois d'autant plus difficilement que le climat est plus aride, et il faudra alors y suppléer par une intervention active, faisant plus ou moins appel à des moyens artificiels qui auront pour objectif final de permettre l'installation d'un couvert végétal suffisant pour stabiliser définitivement la dune.

On cherchera en même temps à rentabiliser ces travaux de fixation par une production végétale qui pourra être soit ligneuse, soit fourragère (mais on risque alors, en admettant le bétail sur les dunes fixées, de provoquer une remise en mouvement des sables).

Le milieu dunaire

Les sables qui composent les dunes sont généralement très pauvres en minéraux, et ont une fertilité très faible. Au voisinage de la mer ils sont

souvent salins, tandis que dans l'intérieur des terres ils présentent habituellement un pH alcalin (entre 7 et 8,5). Ils sont généralement pauvres en matière organique, azote, phosphore et potasse.

Cependant les sables dunaires présentent un certain nombre de caractéristiques qui permettent une installation relativement aisée des végétaux ligneux adaptés à ce milieu. Leur extrême perméabilité permet la pénétration de la totalité des eaux de pluie et leur infiltration en profondeur. En raison de la faible hauteur de remontée capillaire (40–70 cm) l'évaporation est limitée, et le sable reste habituellement humide à une profondeur de 50–60 cm même en pleine saison sèche, les couches superficielles protégeant les couches profondes contre l'évaporation. La capacité de rétention en eau des sables dunaires est faible, de l'ordre de 6 à 9 % et même moins dans les sables grossiers, mais par contre le point de flétrissement (0,8 à 0,9 %) est rapidement atteint, ce qui fait que la presque totalité de l'eau est disponible pour les plantes. Par ailleurs les racines peuvent explorer une grande épaisseur de sable, et dans les cas les plus favorables atteindre une nappe phréatique qui leur assurera une alimentation en eau permanente, ce qui explique la vigueur de croissance de certains reboisements de dunes situés dans des zones très arides.

Un élément important surtout dans les zones côtières est la formation de rosée dans les couches superficielles du sable. La végétation dunaire utilise cette rosée grâce à un système racinaire superficiel qui occupe les 2 ou 3 centimètres supérieurs du sol dunaire jusqu'à une distance qui peut atteindre 10 à 15 mètres dans le cas des arbres.

Principes généraux de la fixation des dunes

Comme nous l'avons déjà souligné l'objectif final est la reconstitution d'un couvert végétal approprié. Dans les climats suffisamment pluvieux on



Dune artificielle de protection ou "tabia". Gabès, Tunisie.

peut parfois aborder directement cette phase de revégétation, mais dans les zones très arides où le sable reste sec et meuble en surface pendant la plus grande partie de l'année il faut assurer une fixation temporaire de ce sable pour permettre l'installation de la végétation.

Il faut tout d'abord identifier la zone d'origine des sables dunaires de façon à pouvoir stopper les apports de matériaux nouveaux dans la zone dangereuse. La technique habituellement employée consiste à édifier une dune artificielle protectrice, à l'abri de laquelle on pourra effectuer les travaux de fixation proprement dite et de plantation.

La fixation des sables peut être obtenue par trois groupes de méthodes : (1) barrières mortes, constituées le plus souvent par des matériaux végétaux; (2) barrières vivantes; (3) couverture protectrice par pulvérisation en surface d'émulsion bitumineuse ou autre.

La troisième phase consiste à planter les végétaux qui constitueront la couverture vivante protectrice et stabiliseront les sables mobiles, par action mécanique de réduction de la vitesse du vent, fixation par le système racinaire, formation de litière et enrichissement des horizons superficiels en matière organique.

Dune protectrice

Dans le cas des dunes maritimes, cette dune protectrice est parallèle au rivage et est appelée dune littorale. Dans ce cas comme dans celui des dunes continentales, la technique de base est la même, et consiste à édifier perpendiculairement aux vents dominants une barrière de 0,50 à 1 m de haut, qui provoquera la formation d'une petite dune. Autour des oasis d'Afrique du Nord on utilise traditionnellement les palmes de dattier. On peut également utiliser des roseaux, des cannes d'Égypte, des branchages, etc., ou encore des matériaux artificiels tels que plaques de fibro-ciment.

Lorsque cette première barrière est recouverte par le sable on en édifie une seconde, et ainsi de suite jusqu'à ce que la dune ait atteint sa hauteur d'équilibre au-delà de laquelle elle ne continue plus à s'élever. Cette hauteur peut être de 10 mètres ou plus.

Haies de protection

A l'abri de la dune protectrice ainsi formée, on cherche à assurer une stabilisation temporaire du sable par des haies mortes ou vives qui agissent comme des brise-vent miniatures. On fait habituellement un quadrillage de dimensions très variables selon les cas, les extrêmes allant de 2 × 2 m à 40 × 40 m. Les matériaux employés sont très variés : roseaux, graminées, branchages, etc., la préoccupation principale étant de réduire les frais de récolte et de transport en utilisant la végétation des zones avoisinantes, en prenant garde toutefois de ne pas y provoquer de dégradation et de remise en mouvement des sables.

Dans certains cas on établit des haies vives. C'est ainsi qu'en Égypte on a utilisé à cet effet la canne d'Égypte (*Saccharum aegyptiacum*). Le seul incon-

vénient de ces haies vives est qu'elles risquent de concurrencer les plants forestiers que l'on introduira ensuite vis-à-vis de l'eau disponible.

Protection par émulsion bitumineuse

Nous n'insisterons pas sur cette technique, expérimentée notamment en Tunisie et en Libye et qui ne présente d'intérêt réel que pour les pays qui disposent de ressources pétrolières dont on peut ainsi valoriser les sous-produits. A côté d'avantages certains, elle présente certains inconvénients, notamment le fait que la couche de sable agglomérée par le bitume gêne l'installation de la végétation spontanée, par conséquent si la plantation artificielle échoue le sol dunaire reste sans protection lorsqu'après 2 ou 3 ans la croûte bitumineuse commence à se désagréger.

Plantations forestières sur dunes

Les végétaux ligneux que l'on utilise pour la protection et le reboisement des dunes doivent présenter un certain nombre de caractéristiques qui leur permettent de tirer parti de ce milieu ingrat tout en assurant le rôle de protection qu'on en attend : enracinement pivotant profond, en même temps qu'un système de racines latérales serré, aptitude à supporter le déchaussement ou l'ensevelissement par le sable, résistance à l'action abrasive du vent de sable, aux brûlures par le soleil dues à la forte réverbération, à l'évaporation intense, etc. Les végétaux buissonnants, présentant des ramifications basses serrées, protègent mieux la surface du sable que les arbres à fût dégagé, et arrêtent sa progression sous l'action du vent.

Les principaux végétaux buissonnants utilisés sont : (a) au nord du Sahara, *Calligonum* spp., *Retama retam* (Retem), *Haloxyton persicum* qui a été très employé en Iran et en Israël mais ne paraît pas l'avoir été en Afrique du Nord, de même que *H. articulatum*; (b) au sud du Sahara, *Salvadora persica*, *Capparis decidua*, *Leptadenia pyrotechnica*, *Calotropis procera*.

Acacia cyanophylla, utilisé en Libye, paraît trop marginal pour les zones recevant moins de 200 mm de pluies annuelles. D'autres acacias australiens, provenant de zones arides, pourraient y être essayés. Les acacias épineux, notamment *Acacia tortilis* (ssp. *tortilis* et *raddiana*) et *A. senegal*, présentent un grand intérêt pour le reboisement des dunes.

Les eucalyptus, tels qu'*Eucalyptus occidentalis* (Tunisie), *E. camaldulensis* et *E. gomphocephala* (Libye), ne sont pas non plus à recommander. Même dans le cas où ils bénéficient d'une nappe à faible profondeur qui leur permet une croissance vigoureuse, on peut leur reprocher de consommer trop d'eau et de faire baisser le niveau de la nappe au détriment de cultures de plus grand intérêt économique (telles que dattier), tout en ne jouant qu'un rôle de protection très insuffisant en raison de l'absence de branches basses.

Parkinsonia aculeata ne mérite guère la réputation qu'on lui a faite comme essence fixatrice de dunes. Les diverses espèces de *Ziziphus* de zones arides peuvent présenter un intérêt. *Z. spina-christi* a été utilisé à El Bashira (Kor-dofan).

Les *Prosopis* présentent un très grand intérêt pour le reboisement des dunes, surtout si l'on utilise des espèces ou variétés à feuillage non apprécié par le bétail qui n'attireront pas les animaux avant le stade de la fructification, c'est-à-dire à un moment où la stabilisation des sables sera acquise. On pourra dans certains cas, même en l'absence de problèmes de fixation des dunes, envisager des plantations à grande échelle de *Prosopis* pour la production de bois de chauffage et de carbonisation — bien que ces plantations aient plus de chances de réussite dans des zones un peu plus humides que celles considérées ici. Il faudra procéder à des essais systématiques d'espèces et de provenances, surtout en ce qui concerne les pays au nord du Sahara, de même que la Somalie.

Les *Tamarix*, notamment *Tamarix aphylla* (*T. articulata*), ont donné de très bons résultats en Afrique du Nord, en Égypte, en République démocratique populaire du Yémen, etc. *T. aphylla* est considéré par certains spécialistes comme l'essence idéale pour le reboisement des dunes, en raison de sa résistance à la sécheresse, de sa tolérance au sel, de son aptitude à supporter l'ensablement, de sa tenue au vent, de sa croissance rapide, de son abondante litière, de ses qualités comme bois de chauffage et bois de menuiserie. Il rejette bien de souche, et forme des cépées denses qui protègent parfaitement le sol dunaire. Il ne faut pas cependant négliger les autres espèces de *Tamarix* mentionnées précédemment, *T. gallica* et *T. stricta*.

Techniques de plantation

La mise en place des plants élevés en sachets de polyéthylène ou autres récipients ne présente aucune difficulté dans les sables dunaire. Il est recommandé de tremper la motte dans l'eau avant la plantation, et si possible d'arroser les plants après la mise en place.

On recommande parfois de rabattre les plants à 10 cm au-dessus du sol afin de réduire la transpiration et les risques de dessiccation. Si possible on fera un léger paillage autour de chaque plant, afin surtout de protéger la base de la tige contre l'action abrasive des grains de sable projetés par le vent.

La plantation profonde, telle que pratiquée au Néguev pour *Acacia cyanophylla* avec des plants de 70 cm que l'on enterre de 60 cm, permet de placer les racines dans les couches de sable restant humides, et d'avoir ainsi de bien meilleures chances de réussite. Elle peut se faire à l'aide d'une simple tarière à main.

On l'applique en RDP du Yémen pour les boutures de *Tamarix aphylla*, dont la longueur varie selon l'emplacement sur la dune : dans les dépressions on emploie des boutures de 50 à 70 cm, sur les pentes des dunes de 80 à 120 cm, et au sommet jusqu'à 150 cm. Ces boutures doivent avoir au moins 1,5 à 2 cm de diamètre au fin bout, et être fraîchement coupées (1 à 2 jours maximum). On les met en place à l'aide d'une tarière de 10 cm de diamètre, après les avoir trempées dans l'eau. On a ainsi obtenu, avec arrosages ultérieurs, des plants de 70 à 105 cm de hauteur à 100 jours.

Conclusion

Le présent ouvrage ne prétend nullement au titre de manuel complet de reboisement à l'usage du forestier sahélien et de celui des zones subdésertiques d'Afrique du Nord. Nous avons simplement cherché à faire le point sur ce qui se fait, ou pourrait se faire dans ce domaine dans les divers pays que nous avons parcourus — trop rapidement pour ne pas laisser échapper ça et là, bien souvent, des réalisations à citer en exemple, des "tuyaux" pouvant intéresser les forestiers d'autres pays, et qui ne figureraient pas dans l'abondante bibliographie consultée (au Centre technique forestier tropical de Nogent-sur-Marne, au Commonwealth Forestry Institute d'Oxford, au Département des forêts de la FAO à Rome, etc.).

Tel qu'il est avec toutes ses imperfections, nous espérons que ce modeste ouvrage pourra rendre des services aux forestiers des zones "très arides" d'Afrique, et que par ailleurs ils voudront bien nous faire part de leurs commentaires, de leurs critiques et de leurs suggestions afin de poursuivre l'échange d'idées que nous avons cherché à amorcer.

S'il nous est permis de tirer une conclusion philosophique sur ces développements quelque peu... arides dans leur technicité, nous voudrions insister sur le caractère particulier de la foresterie dans les régions considérées, où le forestier a bien plus qu'ailleurs un rôle socio-économique à assumer, et un rôle de coordinateur dans l'aménagement des ressources biologiques et de l'espace naturel. Il a affaire à des écosystèmes dont l'équilibre fragile peut être gravement perturbé par des interventions intempestives ou irréfléchies, telles que la mise en culture de sols sujets à l'érosion sous des pluviométries insuffisantes, ou simplement la création d'un nouveau point d'eau non accompagnée des mesures d'aménagement pastoral indispensables. Le rôle du forestier doit aller bien au-delà de la simple plantation d'arbres, et celle-ci, loin d'être un but en soi, ne doit être qu'un élément, et qu'un instrument, dans un aménagement harmonieux des ressources naturelles, conforme à la vocation essentiellement pastorale des régions situées tant au nord qu'au sud en bordure du grand désert saharien.⁴

⁴Lorsque nous parlons de "vocation pastorale", nous y incluons implicitement, par simplification, la *faune sauvage*, dont la protection et l'aménagement constituent une des tâches essentielles — le plus souvent confiée aux services forestiers — de restauration de l'environnement et des ressources naturelles dans les régions considérées, qui renferment des espèces animales particulièrement intéressantes du fait de leur adaptation aux milieux subdésertiques ou même désertiques, et qui sont à des degrés divers menacées d'extinction dans toute leur aire naturelle : gazelle (notamment gazelle dama), addax, oryx, mouflon à manchettes, bouquetin de Nubie, ânes sauvages de Nubie et de Somalie, autruche, sans oublier leurs prédateurs tels que guépard, caracal, panthère et lion. Le bubale d'Afrique du Nord a quant à lui, hélas, été totalement exterminé.

En dehors de la valeur culturelle de la faune sauvage, et des ressources que peut procurer le tourisme cynégétique, on prend de plus en plus conscience des possibilités de production économique que sa protection et son aménagement rationnel peuvent apporter dans beaucoup de régions d'Afrique, et notamment les plus sèches, où les herbivores sauvages tirent un bien meilleur parti des ressources fourragères de la végétation naturelle que leurs congénères domestiques.

Bibliographie

- Aubreville, A. 1950. Flore forestière soudano-guinéenne. A.O.F., Cameroun, A.E.F., Paris, SOC. ed. Georg. Marit. Colon.
- Boaler, S.B. 1959. *Conocarpus lancifolius* Engler in Somaliland Protectorate. Empire Forestry Review, vol. 38(4), no. 98, Dec.
- Bois et Forêts des Tropiques. 1962. *Prosopis juliflora* A. de Candolle. Caractères sylvicoles et méthodes de plantation, B.F.T., n° 82, mars-avril.
- Bosshard, W.C. et Von Wendorff, G.B. 1966. *Conocarpus lancifolius* and its possibilities in the Sudan. Rep. of the Sudan Forest Dept./UNDP For. Res. Ed. Proj., Pamphlet no. 18.
- Burkart, A. 1976. A monograph of the genus *Prosopis* (Leguminosae sub-fam. Mimosoidae). Journal of the Arnold Arboretum, Part 1, 57(3), 219-249, Part 2, 57, 450-525.
- Delwaulle, J.C. 1978-1979. Plantations forestières en Afrique tropicale sèche. Techniques et espèces à utiliser. B.F.T., n°181, sept.-oct. 1978 à 188, nov.-déc. 1979. (Cette étude, publiée après la rédaction du présent document, porte en fait essentiellement sur des zones plus humides que celles considérées ici (climat sahélo-soudanais d'Aubreville)).
- FAO/Institut de Reboisement de Tunisie. 1971. Premiers enseignements des arboretum forestiers. FO:SF/Tun 11, Rapport technique 5.
- FAO/DANIDA. 1974. Report of the FAO/DANIDA Inter-Regional Training Centre on Heathland and Sand Dune Afforestation, Denmark and Libya, 26 Aug.-21 Sept. 1973, FAO/DEN/TF 123.
- FAO. 1975. Méthodes de plantations forestières dans les savanes africaines. Rome.
- Ferlin, G.R. 1977. Rôle du forestier sahélien. B.F.T., n° 171, janv.-fév. 1977. La ceinture verte du Sahel. CERES, vol 10, n° 2, mars-avril. 1979. Impressions des îles du Cap-Vert. B.F.T., no° 183, janv.-fév.
- Giffard, P.L. 1974. L'arbre dans le paysage sénégalais. Sylviculture en zone tropicale sèche. C.T.F.T., Dakar. 1975. Les gommiers, essences de reboisement pour les régions sahéliennes. B.F.T., n° 161, mai-juin.
- Goor, A.Y. et Barney, C.W. 1976. Forest tree planting in arid zones. New York, The Ronald Press Company. (2nd edition)
- Karschon, R. 1968. L'arbre et la forêt en région aride : exemple du Néguev. B.F.T., n° 122, nov.-déc.
- Kaul, R.N. ed. 1970. Afforestation in arid zones. Den Haag, Nederland, W. Junk N.V. Publ.
- Laurie, M.V. 1975. Méthodes de plantation forestière dans les savanes africaines. Rome (Italie), Collection FAO : mise en valeur des forêts, n° 19, FAO.
- Obeid, M. et Seif el Din, A. 1970. Ecological studies of the vegetation of the Sudan. I. *Acacia senegal* (L.) Willd. and its natural regeneration. Journal of Applied Ecology, vol. 7.
- Rapp, A. Le Houerou H.N. et Lundholm B. ed. 1976. Can desert encroachment be stopped? Report published in cooperation between the United Nations Environment Programme (UNEP) and the Secretariat for International Ecology, Sweden (SIES), Ecological Bulletin /NFR 24.

- Seif el Din, A. 1969. The natural regeneration of *Acacia senegal* Willd. A thesis submitted for the degree of Master of Science in the University of Khartoum.
- UNESCO. 1962. Recherches sur la zone aride XVIII. Les problèmes de la zone aride. Actes du Colloque de Paris.
- UNESCO. 1974. Programme sur l'homme et la biosphère (MAB). Réunion régionale sur les besoins en matière de recherche écologique intégrée et de formation dans la région du Sahel, Niamey 9–15 mars, Rapport n° 18, série des rapports du MAB.
- USDA Forest Service. 1972. Wildland shrubs: their biology and utilization. An International Symposium, Utah State University, Logan, Utah, July 1971. USDA Forest Service General Technical Report INT-1, 1972. Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, Utah.
- Weber, F.R. 1977. Reforestation in arid lands. Action/Peace Corps Program & Training Journal, Manual Series no. 5, VITA Publications, Manual Series no. 37E.

