

LA FIXATION PAR LE REBOISEMENT DES DUNES DE LA PRESQU'ÎLE DU CAP-VERT ET L'ÉVOLUTION BIOLOGIQUE DES SOLS

par J. MAHEUT et Y. DOMMERGUES

FIXATION OF THE CAP VERT PENINSULA SAND-HILLS BY REAFFORESTATION

SUMMARY

*After reviewing the climatic, edaphic and phyto-sociological characteristics of the Cap Vert peninsula the authors expound the technique of fixation of drifting coastal dunes based on the exclusive use of the Filao (*Casuarina equisetifolia*).*

The second part of the paper is devoted to the biological evolution of sand-hill soils after reafforestation. Because it causes a spectacular rise in the level of biological activity, the Filao is to be regarded as an excellent species for the regeneration of soils. However, there appears sooner or later a certain lack of balance in the telluric microflora and this should incite the silviculturist to consider replacing the second generation Filao by some other species promoting instead of inhibiting the mineralization process.

LA FIJACION MEDIANTE LA REPOBLACION FORESTAL DE LOS TERRÉNO MEDANOSOS DE LA PENINSULA DE CABO VERDE

RESUMEN

*Después de haber reseñado las características climatológicas, edáficas y fitosociológicas de la península de Cabo Verde, los autores exponen la técnica de fijación de las dunas costeras basada en la utilización exclusiva del Filao (*Casuarina equisetifolia*).*

La segunda parte de esta comunicación se consagra al estudio de la evolución de la biología de los terrenos medanosos después de la repoblación forestal. Dado que el Filao supone una elevación espectacular del nivel de actividad biológica, debe ser considerado como una excelente especie de regeneración de los terrenos, pero la aparición más o menos rápida de un desequilibrio de la microflora telúrica debe incitar al silvicultor a examinar la sustitución del Filao en segunda generación por una especie que favorezca el proceso de mineralización en lugar de suprimirlo.

La presqu'île du Cap-Vert est bordée sur toute sa côte nord, soit sur près de 40 km, par une ligne de dunes vives, dont la progression vers l'intérieur était devenue tellement rapide au cours des dernières décennies que l'on demanda au Service Forestier du Sénégal d'entreprendre des travaux de fixation.

D'après les témoignages concordants des habitants, les mouvements de sable ont commencé depuis une quarantaine d'années. La dune littorale, haute de 4 à 5 m était relativement bien fixée par une végétation herbacée et buissonnante et protégeait tout l'arrière pays. Mais ce couvert végétal fragile a été détruit progressivement, surtout à

proximité de Dakar, par les troupeaux qui, pendant l'hivernage, sont rassemblés la nuit au bord même de l'océan, zone moins parasitée que l'intérieur de la presqu'île et où les propriétaires des animaux n'ont pas à craindre des dépradations de leurs bêtes sur les terrains de culture. Par contre, dans la zone du champ de tir de Cambéréne où le pacage est interdit, la dune littorale est très peu dégradée.

Avant leur envahissement partiel par les sables, les lacs littoraux, Youi, M'Bobousse, Retba, étaient beaucoup plus étendus ; sur les cartes dressées en 1904 par le Service Géographique de l'armée, les lacs Youi et M'Bobousse ne sont séparés que par



Aspect d'une dune littorale.

Photo Maestrati.

Sous l'influence des vents soufflant du Nord pendant la saison sèche, les sables avancent de dix à douze mètres par an, recouvrant les terrains à vocation agricole et pastorale, atteignant et comblant les lacs littoraux sur les bords desquels on pouvait établir de riches cultures maraichères. Tous les terrains de culture, situés à l'Est du lac Youi, n'existent plus aujourd'hui et les Filaos, plantés en 1925 au bord de ce lac par le service de l'Agriculture, sont presque complètement ensablés.

C'est devant cette situation alarmante que l'intervention du Service Forestier a été décidée en 1948. Il était hors de question d'arrêter de front la masse de sable en mouvement ; aussi le projet retenu prévoyait-il d'empêcher le déplacement des sables par le boisement d'une bande littorale de 200 m de largeur et ultérieurement, à la faveur de ce premier abri végétal, la fixation et le boisement progressif de toute la zone dunaire interne.

quelques centaines de mètres, alors qu'actuellement ils le sont par une bande sablonneuse de deux kilomètres de large.

I. — LE MILIEU NATUREL

A. — FACTEURS CLIMATIQUES

D'après AUBREVILLE (2), les caractéristiques du climat de la Presqu'île du Cap-Vert sont les suivantes :

TEMPÉRATURE :

Moyenne annuelle	23°7 à 25°
Moyenne minima	20°5 à 21°6
Moyenne maxima	28°4
Amplitude thermique	6°8 à 8°3 (moyenne ou forte)

La courbe des températures présente un seul minimum en février, un seul maximum en sep-

tembre-octobre, la saison assez fraîche de 3 à 6 mois coïncidant avec les alizés de la saison sèche.

TENSION DE VAPEUR D'EAU :

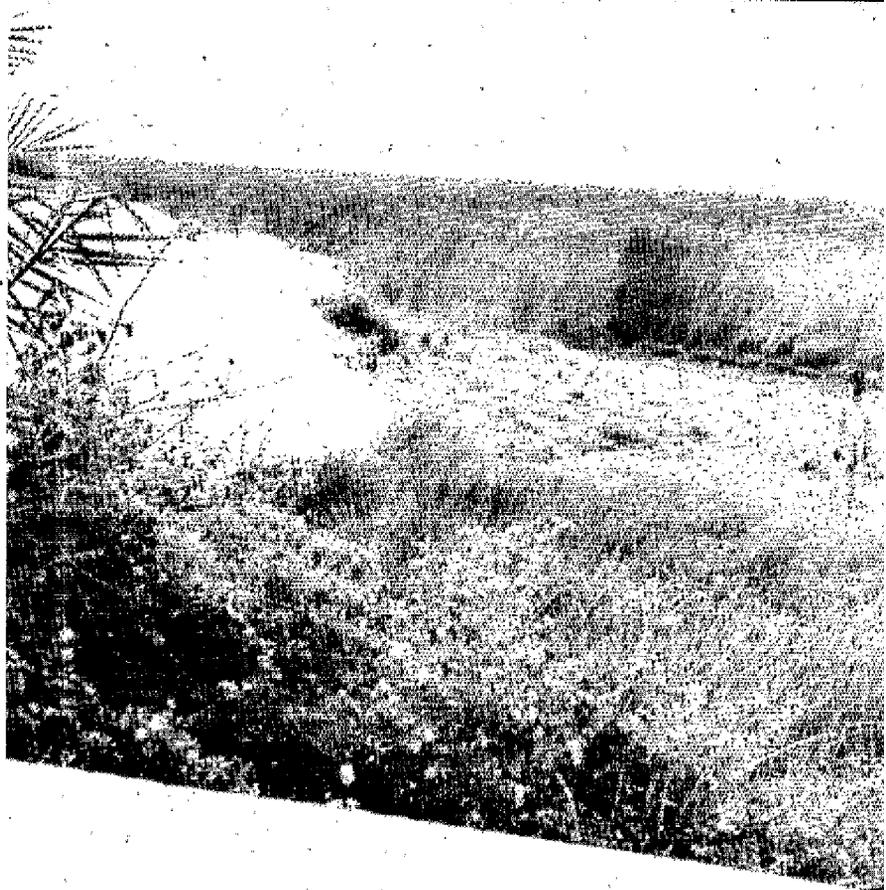
Moyenne annuelle	16,3 mm (forte)
Mensuelle minima	10,4 à 11 mm
Mensuelle maxima	22,4 à 23 mm
Variation annuelle	11,4 à 12,7 (très forte)
Déficit de saturation : (moyenne annuelle)	5,3 à 7 mm (moyenne)

PLUVIOMÉTRIE :

Indice pluviométrique..... 400 à 550 mm
Très courte saison des pluies de juin à septembre.

TABLEAU I. — RÉGIME DES VENTS DANS LA PRESQU'ÎLE DU CAP VERT

Mois		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Vents dominants		N	N	N	N	N	W	W	WNW	NW	N	N	N
Vitesse en mètres secondes par	8 heures	13,7	14,8	14	15,1	11,2	9,4	8,6	9	9,4	7,9	11,5	14
	13 h	12,6	16,6	19	20,2	16,6	12,6	11,5	11,5	12,9	12,6	13	14
	18 h	15,1	17,3	19,1	20,2	17,6	13,3	12,6	12,6	10,4	11,2	13	14,8



LES VENTS. (Tableau I)

Les vents dominants sont :

— d'octobre à mai (saison sèche) l'*alizé*, vent du secteur nord frais et humide qui abaisse sensiblement la température.

— de juin à octobre (saison des pluies ou « hivernage »), la *mousson* vent du secteur Ouest et Nord-Ouest chaud et humide.

L'*harmattan*, vent très sec habituellement chaud, qui souffle par intermittence pendant la saison sèche, constitue pour la végétation un facteur limitant très important en « grillant » littéralement les jeunes plants si on ne les protège pas en temps opportun.

B. — FACTEURS ÉDAPHIQUES.

Les dunes vives sont constituées en quasi-totalité par des grains de quartz d'origine assez complexe ; l'examen granulométrique et morphologique indique que ce sont des sables d'origine marine repris par le vent (5). Leur richesse relative en débris coquilliers marins fait que leur pH est très élevé puisqu'il oscille autour de 8.

Pendant la longue saison sèche qui caractérise la région, l'approvisionnement en eau de la végétation est uniquement sous la dépendance des réserves en eau du sol. L'étude de la nappe phréatique revêt donc ici une importance considérable. Cette nappe est alimentée uniquement par des eaux d'infiltration pluviales et pendant l'hivernage se déverse en partie dans les lacs littoraux. L'eau douce repose sur de l'eau salée, car dans les puits le niveau varie légèrement avec la marée ; cependant on n'a pas constaté de mélange des deux eaux ; même à la fin

de la période sèche, l'eau des puits ne devient jamais saumâtre malgré un pompage important et quoique certains puits soient à moins de deux cents mètres de la laisse des hautes mers.

Des profils hydriques, établis en avril et mai 1957 (2^e moitié de la saison sèche), montrent qu'au-dessous de 40 cm de profondeur, le sol renferme encore plus de 2 % d'eau (Tableau II).

Or, dans ce type de sol très sablonneux, l'humidité au point de flétrissement est de l'ordre de 0,5 % au maximum. Il en résulte que les plantes disposent d'une importante réserve d'eau facilement utilisable, dès que les racines atteignent une profondeur d'une quarantaine de centimètres.

TABLEAU II. — PROFILS HYDRIQUES EN FIN DE SAISON SÈCHE DANS DEUX PÉRIMÈTRES DE REBOISEMENT EN SOL DUNAIRE NON ÉVOLUÉ

Emplacement du profil hydrique étudié	Profondeur de la nappe en cm	Humidité du sol à différentes profondeurs				
		0 cm	20 cm	40 cm	60 cm	80 cm
<i>Périmètre Malika :</i>						
Sud parcelle 1948 (prélèvement du 15 avril 1957)	160	0,3 %	0,3 %	2,1 %	2,3 %	2,4 %
Angle Nord-Ouest parcelle 1956 (prélèvement du 15 avril 1957)	250	0,4 %	1,6 %	2,5 %	2,5 %	2,5 %
<i>Périmètre Lac Retba</i> (prélèvement du 3 mai 1957)	150	0,1 %	0,1 %	2,3 %	2,0 %	2,4 %

C. — VÉGÉTATION SPONTANÉE

Dans la zone où les reboisements devaient être entrepris, il ne subsistait que quelques rares touffes de plantes herbacées, *Alternanthera maritima*, *Sporobolus spicatus*, *Schizachyrium spicatum*, *Ipomea pes-caprae*, *Cyperus bulbosus*, *Cyperus maritimus*,

Canavalia obtusifolia, et plus à l'intérieur, quelques buttes fixées par *Tamarix senegalensis* ou *Calotropis procera*, dominant de plusieurs mètres le niveau actuel des sables. La liste complète des plantes spontanées et subspontanées des dunes littorales a été dressée par J. G. ADAM.

II. — LA TECHNIQUE DE FIXATION DES DUNES

1. — CHOIX DE L'ESSENCE DE REBOISEMENT

L'essence retenue devait être capable de prospérer à proximité de la mer sur un sol sablonneux très pauvre et sans cohésion, de supporter les effets de vents violents chargés d'embruns et de résister à un ensablement partiel. Ces conditions sévères sont précisément celles dans lesquelles se développe le Filao (*Casuarina equisetifolia*) en Malaisie d'où il est originaire. Introduit en 1908 au Parc forestier de Hann, le Filao s'y développa normalement et fut largement utilisé comme arbre d'alignement ou comme essence de reboisement et dès le début des travaux de fixation des dunes, c'est cette essence qui fut employée sur près de 10 hectares. Cependant, le Filao présente l'inconvénient d'être peu longévif (il ne dépasse guère une cinquantaine

d'années), de ne pas se régénérer naturellement sous le climat de Dakar et de mal rejeter de souche.

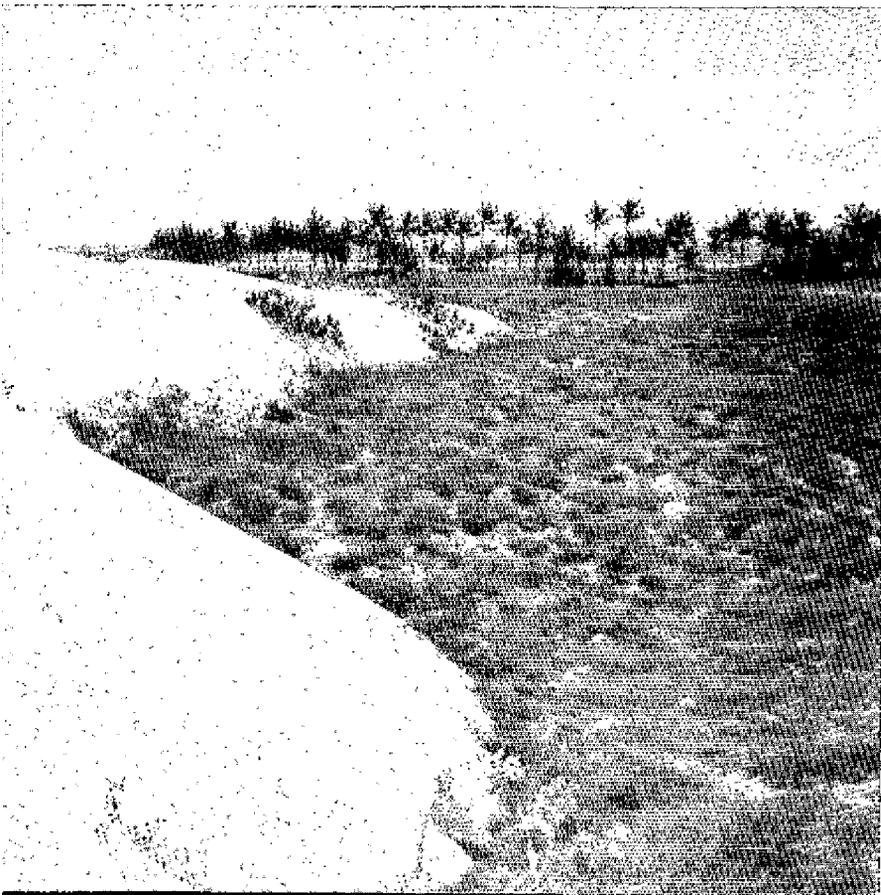
Il eût donc été intéressant de trouver d'autres espèces capables de se développer sur les dunes littorales et des essais systématiques furent entrepris en 1948 par plantation, bouturage et semis* ; en outre, on a tenté de multiplier les graminées spontanées *Sporobolus spicatus* et *Schizachyrium pulchellum* pour obtenir une première fixation du

(*) LISTE DES ESSENCES ESSAYÉES EN 1948

PLANTS.	<i>Acacia adstringens</i> <i>Acacia scorpioïdes nilotica</i> <i>Albizia lebbek</i> <i>Aphania senegalensis</i> <i>Cassia bicapsularis</i> <i>Cassia siamea</i> <i>Casuarina equisetifolia</i> <i>Coccoloba uvifera</i> <i>Cocos nucifera</i> <i>Combretum aculeatum</i> <i>Eucalyptus sp.</i> <i>Faidherbia albida</i> <i>Melaleuca leucadendron</i> <i>Pithecellobium dulce</i> — saman <i>Portulacaria afra</i> <i>Tamarix articulata</i> <i>Trachytobium verrucosum</i>
SEMIS.	<i>Anacardium occidentale</i> <i>Borassus flabellifer</i> <i>Cassia occidentalis</i> <i>Chrysobalanus orbicularis</i> <i>Dodonea viscosa</i> <i>Parinari macrophylla</i>
BOUTURES.	<i>Portulacaria afra</i> <i>Tamarix articulata</i> <i>Ipomea pes-caprae</i>
REPIQUAGES.	<i>Sporobolus spicatus</i> <i>Schizachyrium pulchellum</i>

Envahissement des terrains à vocation agricole et pastorale par les dunes littorales (Matika).

Photo Maestrati.



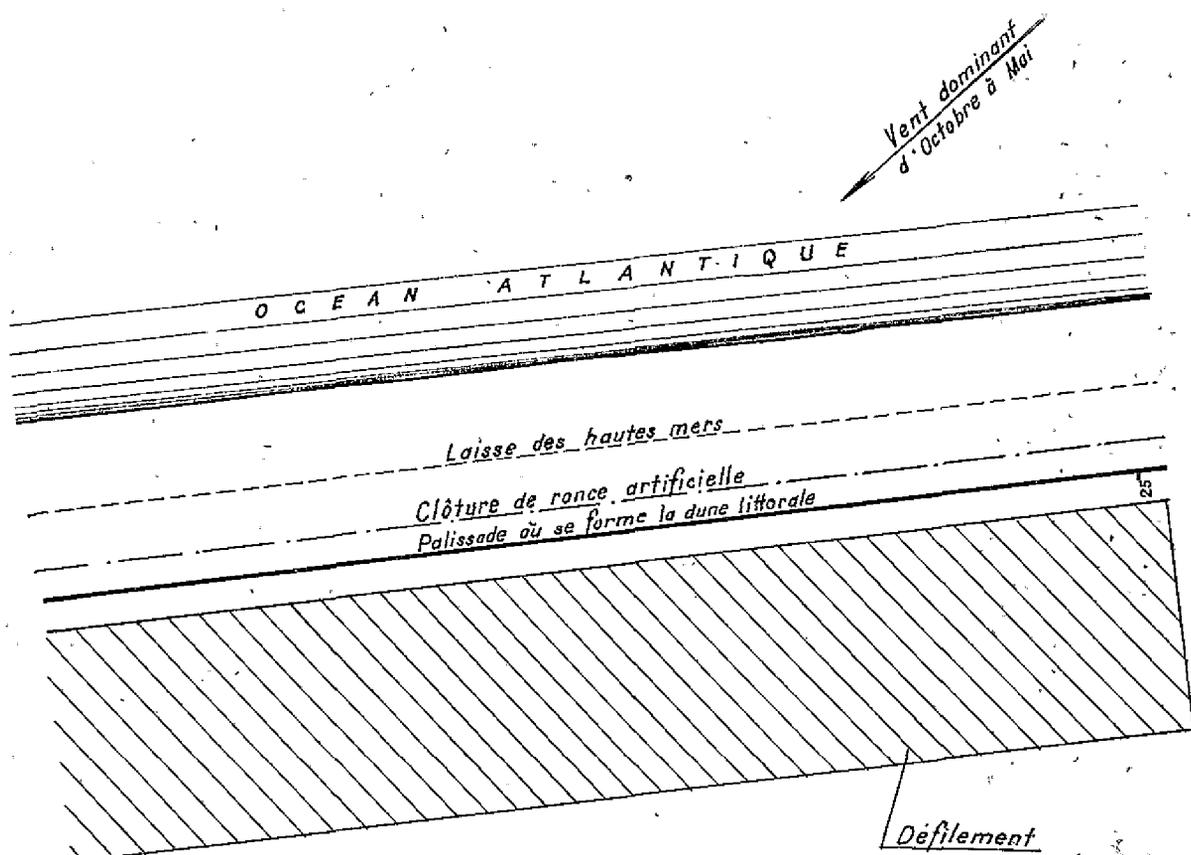


FIG. 1. — Emplacement par rapport à la laisse des hautes mers de la bande littorale de reboisement de 150 m de large.

sol ainsi qu'*Euphorbia balsamifera* sur laquelle on comptait pour constituer de petits barrages de protection contre l'ensablement.

Aucune de ces espèces n'a donné de résultats intéressants et actuellement sur les parcelles d'expérience, il ne reste que quelques rares Cocotiers souffreteux, quelques lignes d'Euphorbes et un bouquet de *Pithecellobium dulce* à l'abri d'une parcelle de Filao.

En dehors des causes d'échecs liées au climat et au sol, il faut signaler le rôle néfaste des Crabes qui, très abondants sur la côte, sont responsables de la disparition de nombreux jeunes plants, particulièrement des *Anacardium occidentale* lors de la germination.

Il n'existe donc actuellement aucune espèce susceptible de remplacer le Filao pour la fixation des dunes situées immédiatement en bordure de mer ; on peut penser que derrière l'écran protecteur des premières bandes de Filao, il sera possible d'installer d'autres plantes. Certains essais, avec le Cocotier notamment, mériteraient d'être repris.

2. — AMÉNAGEMENTS PRÉLIMINAIRES.

a) **Mise en défens.** — La présence pendant l'hivernage de très importants troupeaux rend indispensable la pose autour du terrain à reboiser

d'une clôture constituée par une triple rangée de ronce artificielle sur poteaux de bois (Rônier, Cassia ou Filao). Au début tout le périmètre était clôturé, mais le fil de fer galvanisé ne résistant pas plus de deux ans en bordure de mer, il a été ensuite jugé préférable de protéger uniquement la bande de 150 à 200 mètres de large où les Filaos devaient être installés (fig. 1).

b) **Constitution d'une dune littorale.** — A une distance de 70 mètres environ de la laisse des hautes mers, on dresse une palissade destinée à arrêter le sable. Cet obstacle mécanique est constitué soit par des clayonnages de 0 m 75 de hauteur fabriqués avec les tiges refendues d'*Oxytenanthera abyssinica*, soit avec des feuilles de Phoenix dressées. On obtient ainsi rapidement une dune artificielle d'une dizaine de mètres de large et d'un ou deux mètres de hauteur.

La palissade n'a qu'un rôle transitoire : retenir le sable pendant la première et la deuxième année ; les jeunes plants de Filao sont ensuite suffisamment hauts pour ne plus risquer l'ensablement ; pour que la quantité de sable à retenir par les premières rangées de la plantation ne soit pas trop importante, il y a intérêt à installer la bande de protection aussi près que possible de la laisse des hautes mers, mais il ne semble pas que l'on puisse réduire



Pépinière du Parc Forestier de Hann.

Photo Maestrati.

50 cm de longueur quand on peut en trouver à une distance assez faible du périmètre de reboisement. Un hectare de plantation nécessite la mise en place de 500 m de clayonnages.

3. — ÉDUCATION DES PLANTS EN PÉPINIÈRE.

Les pépinières destinées à l'éducation des plants de Filao ont été installées dans le Parc Forestier de Hann et à Cayar, soit à une vingtaine de kilomètres des terrains à reboiser, car il était malheureusement impossible de trouver des emplacements convenables à moindre distance.

Tous les plants sont obtenus en pots de terre cuite de 10 cm de diamètre et depuis deux ans en partie en gaines de polyane de 20 à 25 cm de hauteur (gaine de 12 cm de large — 50 microns

d'épaisseur). Pots et gaines sont remplis de terre sablonneuse ramassée sous d'anciennes plantations de Filaos, enrichie de fumier de cheval et d'engrais complet 10-10-20 à la dose de 1 kg au mètre cube environ.

Les semis se font en pots ou en planches surélevées aux mois de janvier et février. Au bout d'un mois ou six semaines, les plants qui atteignent 10 cm de hauteur sont repiqués en pots ou en gaines. Les arrosages doivent être légers et quotidiens, mais la nécessité d'installer des abris de feuillage ne s'est jamais fait sentir, même au moment de la germination.

Au mois de juillet-août, les plants ont une cinquantaine de centimètres de hauteur. Dans les pots en terre cuite, les racines forment un véritable lacis et la racine principale se met en tire-bouchon; bien que cet accident n'empêche pas une excellente reprise, nous préférons les gaines de polyane deux fois plus hautes que les pots qui ont été essayés, car elles permettent le développement de plants nettement plus vigoureux, malheureusement le prix d'une gaine est le double de celui d'un pot.

D'autre part, au moment de la mise en place, il faut veiller à ce que les gaines soient soigneusement ouvertes au fond et trouées sur les côtés, sinon les plants sont isolés et risquent de périr par manque d'eau.

cette distance à moins de 100 mètres, sinon les risques de recouvrement par la mer lors de fortes tempêtes deviennent trop importants.

c) Creusage des puits. — La nécessité d'arroser quotidiennement les Filaos pendant la première saison sèche suivant la mise en place, conduit à équiper toute la zone à reboiser d'un réseau de puits, à raison d'un puits par hectare environ. Les parois en sont maintenues par la superposition d'éléments constitués par trois tôles obtenues en développant des fûts d'essence réformés, ce qui permet d'avoir des puits de 1,20 m de diamètre environ. Ils sont équipés par des pompes à membrane fonctionnant parfaitement même quand l'eau est chargée de sable et ne demandant qu'un entretien minime. La protection de ces puits contre l'ensablement est obtenue en dressant quelques clayonnages face aux vents dominants.

d) Petites barrières de protection. — La palissade littorale est insuffisante pour empêcher les mouvements de sable sur toute la largeur du reboisement, aussi est-il nécessaire de disposer tous les 20 mètres et perpendiculairement aux vents dominants des petites palissades de cinquante centimètres de hauteur constituées soit de clayonnages de bambous fendus de 0,40 m de hauteur, soit de feuilles de *Phoenix* coupées à

En 1957, on a essayé de repiquer en gaines beaucoup plus étroites, ayant seulement 5 cm de large, mais 35 cm de longueur. Au bout de six mois, les racines atteignent le fond de la gaine et au moment de la mise en place sont ainsi rapidement en contact avec le sable humide : l'étude des profils hydriques nous a en effet montré qu'à une profondeur de l'ordre de 40 cm, le sol était encore humide même en saison sèche. Le transport en est facile et la reprise excellente. Le seul inconvénient de la méthode réside dans le fait que le remplissage de ces gaines est assez difficile. Quoiqu'il en soit, les premiers résultats sont encourageants et les essais sur le type de gaine très allongée mériteraient d'être repris sur une plus grande échelle.

4. — TRANSPORT ET MISE EN PLACE DES PLANTS

Le problème du transport par camions des plants des pépinières aux lieux de plantation a été assez difficile à résoudre en raison de la nature sableuse du sol. Le transport est toujours assez onéreux.

Il a pu être établi que pour un hectare de plantation, il y avait 3 tonnes environ à transporter. Chaque véhicule peut emmener 3.000 pots ou 1.500 gaines 20/25 cm de hauteur.

Dès leur déchargement, les plants sont mis en place à l'écartement de 2 x 2 m ou en 1957, à 2,50 x 2,50 m ; la plantation dans le sol sablonneux et nu ne présente aucune difficulté et peut être exécutée très rapidement.

La bande de protection a une largeur de 200 mètres qui peut, sans inconvénient, être réduite à 150 mètres ; tous les kilomètres, sont ménagés des couloirs d'une centaine de mètres de largeur pour permettre aux troupeaux de gagner le bord de la mer. Pour faciliter le piquetage, les parcelles sont d'abord divisées en carrés de 50 mètres de côté qui servent ultérieurement d'unités pour l'arrosage.

5. — ARROSAGE ET ENTRETIEN

L'arrosage régulier des Filaos est une nécessité absolue et doit commencer, le cas échéant, aussitôt la plantation, car même en pleine saison des pluies, il n'est pas rare d'avoir des périodes de sécheresse de plusieurs jours auxquelles les jeunes plants, lors de leur reprise, sont

incapables de résister. Quand l'arrosage est inutile, la main-d'œuvre est employée à l'entretien des différentes palissades et éventuellement à leur achèvement ou leur renforcement sur les points critiques. Malgré toutes les précautions prises, il y a toujours par endroits des mouvements de sable qui déchaussent les plants dont les racines mises à nu doivent être immédiatement recouvertes pour éviter un dépérissement très rapide, ou au contraire qui les ensablent complètement et d'autant plus facilement que les plants se couchent.

L'arrosage doit être poursuivi jusqu'à la saison des pluies suivante et nécessite 500 journées de manœuvres par hectare. C'est évidemment ce poste qui rend ces plantations extrêmement onéreuses et c'est sur ce point qu'il faudra essentiellement agir pour réduire les prix de revient.

6. — PROGRAMME EXÉCUTÉ ET RÉSULTATS OBTENUS

Réparties sur les périmètres de reboisement du lac Youi et du lac Retba, les plantations de Filaos couvrent actuellement plus de 400 hectares et s'allongent sur un front de près de 18 kilomètres.

Techniquement la réussite est indéniable et, vues par avion lors de l'arrivée à Dakar, ces plantations se détachant entre l'océan et une mer de sable sont particulièrement spectaculaires.



*Jeunes plantations de Filaos protégées
par des haies de feuilles de Phoenix (Matika).*

Photo Maestrati.

Plantations de Filaos à MALIKA Bande de protection

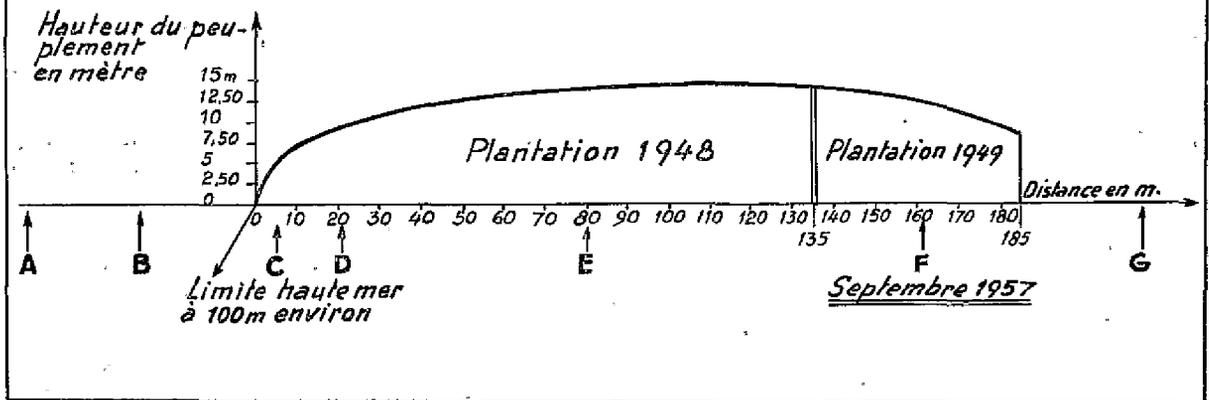


Fig. 2. — Profil en long de la bande de protection étudiée avec indication de l'emplacement des prélèvements de sol. (A, B, C, D, E, F).

TABLEAU III. -- PLANTATIONS DES PÉRIMÈTRES DE REBOISEMENT DU LAC YOUI ET DU LAC RETBA

Lac Youi,	1948	9 ha	Front de 400 m
	1949	20 ha	» 900 m
	1950	27 ha	» 1.900 m
	1951	24 ha	» 1.100 m
	1952	10 ha	» 500 m
	1953	22 ha	» 1.400 m
	1954	22 ha	Derrière plantation 1953
Lac Retba	1955	25 ha	Front de 1.400 m
	1956	45 ha	» 1.500 m
	1957	115 ha	» 7.750 m
		185 ha	
		239 ha	

Si la nappe phréatique n'est pas à plus de 3 mètres, le Filao se développe très rapidement malgré la pauvreté du sol. Au moment où cessent

les arrosages il atteint 1 m de hauteur ; après le deuxième hivernage, 2 à 3 mètres. Dans la parcelle de 1948, à une centaine de mètres de la lisière côté mer, les Filaos ont maintenant 13 à 14 m de hauteur avec une circonférence à 1,30 m de 35 cm (fig. 2).

Les premiers rangs exposés aux vents prennent un aspect buissonnant, rampant même et les plantations ont ainsi un profil très caractéristique (Photo ci-dessous).

Dès la deuxième année, les Filaos fixent efficacement le sable en développant un réseau important de racines superficielles et rapidement les petites branches longues et fines qui tombent, recouvrent le sol d'abord au pied même du plant qui est ainsi protégé contre le déchaussement, puis sur toute la superficie.

Quand il reste du sable mobilisable entre la laisse des hautes mers et la lisière du reboisement, il se forme dans la première rangée de Filaos, une dune qui atteint par endroits 3 à 4 m de hauteur, cependant l'apport de sable n'est jamais suffisamment rapide pour que les Filaos disparaissent ; quoique ensablés sur les trois quarts de leur hauteur, ils ne semblent pas en souffrir.

En arrière des plantations, les mouvements de sable diminuent d'intensité, les arêtes des dunes vives s'estompent et celles-ci s'immobilisent en quelques

Profil caractéristique des reboisements en Filao en bordure de mer.

Photo Dommergues.

années. L'effet protecteur se fait sentir sur une largeur sensiblement égale à dix fois la hauteur de peuplement, soit 150 mètres pour une plantation âgée de 10 ans.

Peu à peu le sol se recouvre naturellement de graminées, *Schizachyrium pulchellum*, *Sporobolus spicatus*, de cypéracées (*Cyperus bulbosus* et *maritimus*), et quelques touffes de *Calotropis procera* se développent.

La création d'un boisement derrière la bande abri est très facilitée, tous les travaux préliminaires de protection devenant inutiles. Quoique la nappe phréatique soit de plus en plus profonde à mesure que l'on s'éloigne de la mer, les plantations faites en 1955 et 1956 derrière les parcelles 1948-49 et 1950 sont en excellent état de végétation ; à noter que dans les premiers cinquante mètres, les mieux abrités, les arrosages ont pu être interrompus cette année dès le mois de mai.

C'est incontestablement vers une diminution des prix de revient que doivent s'orienter maintenant les efforts du Service forestier. Il semble, en effet, que les frais d'arrosage puissent être considérablement réduits en mettant les plants en place avant la saison des pluies, pendant les mois de mai et juin ; on a observé, en effet, que dans ces conditions, les plants profitaient beaucoup mieux des précipitations et se développaient plus vigoureusement, atteignant 0,80 m à 1 m dès le mois d'octobre suivant, soit sensiblement la taille des plants mis en place en juillet-août au commencement de la deuxième saison des pluies. En conséquence, la période des semis devra être également avancée de trois mois et débiter au mois d'octobre. Ces plantations précoces essayées en 1957 doivent être généralisées pour la réalisation du programme de plantations de 1958.

Le coût élevé des plantations de *Filaos* amènera peut-être à renoncer à l'utilisation de cette essence pour le reboisement de la zone dunaire interne, c'est-à-dire en arrière des bandes abris, si les essais entrepris actuellement avec les *Cocotiers* réussissent.

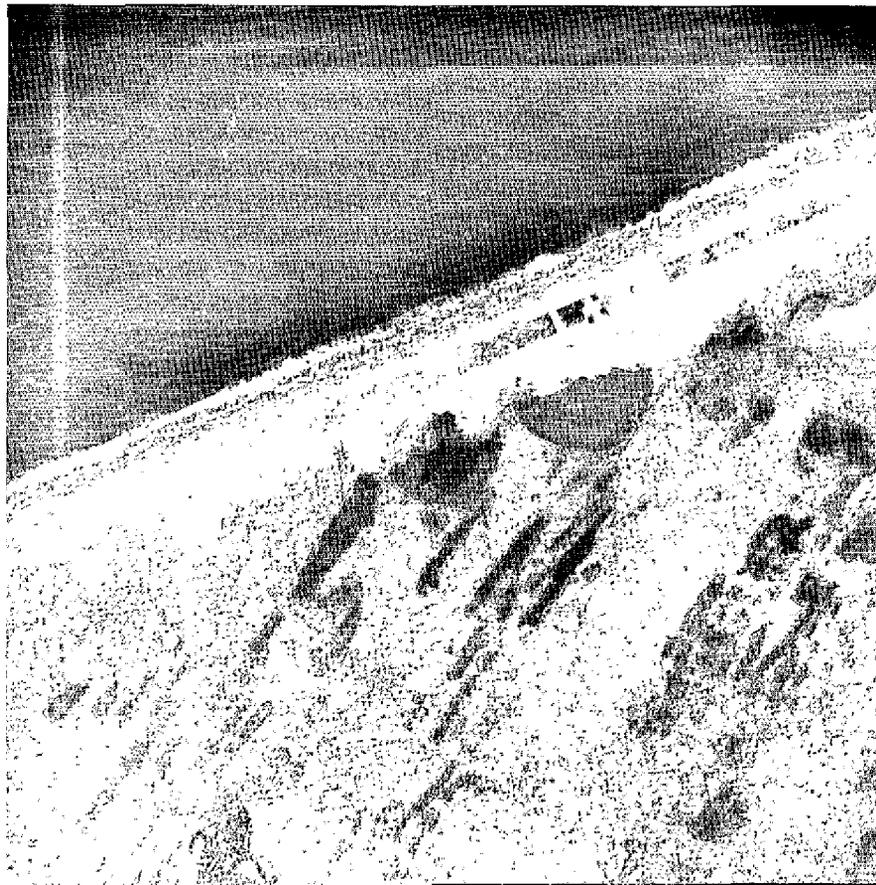
Les reboisements en Filao apparaissent sous forme de bandes plus ou moins foncées, parallèlement au rivage, ressortant remarquablement bien sur le fond blanc des dunes littorales. L'envahissement des deux lacs Youi et Ourouaye en demies lunes, est particulièrement net.

Photo aérienne du Service Géographique de l'A. O. F. Mission 1954.



Photo Maestrati.

Dunes définitivement fixées par des plantations de Filao âgées de 7 ans (Malika)



III. — ÉVOLUTION DE LA BIOLOGIE DES SOLS DUNAIRES APRÈS LEUR FIXATION PAR LE REBOISEMENT.

La technique actuelle de fixation des dunes dans la presqu'île du Cap Vert reposant en fait sur l'utilisation exclusive du Filao (*Casuarina equisetifolia*), on peut se demander quelle est l'influence de cette essence sur la Biologie du Sol. Dans quelle mesure le reboisement en Filao élève-t-il le niveau général de l'activité biologique ? En supposant que cet accroissement de l'activité biologique soit mis en évidence, observe-t-on le développement d'un équilibre harmonieux ou au contraire l'apparition d'un déséquilibre entre les différents groupes physiologiques de microorganismes telluriques ?

Pour répondre à la première question, il suffisait de déterminer le niveau de l'activité biologique dans des parcelles de Filao et dans les dunes vives voisines non encore reboisées*. C'est ce que nous avons fait dans le périmètre de Malika.

Le deuxième problème était plus difficile à aborder ; en effet, l'existence d'un déséquilibre biologique ne peut se déduire que de la comparaison de sols de parcelles soumises à des traitements différents, mais cependant assez voisins, pour que le niveau général de l'activité biologique (mesuré par le dégagement de CO_2 ou par la densité de la microflore totale) soit du même ordre de grandeur. C'est ainsi qu'une comparaison entre deux parcelles forestières est valable, alors qu'une comparaison entre une parcelle reboisée d'une part et une parcelle cultivée ou en jachère d'autre part, ne l'est pas, car le niveau général de l'activité biologique est très différent en forêt et au champ.

Comme il n'était pas possible de trouver dans la zone dunaire littorale deux peuplements forestiers différents, nous avons été amenés à effectuer nos

observations dans des parcelles reboisées en Filao et en Cassia du périmètre de M'Bao situé un peu plus à l'intérieur de la presqu'île sur un sol dunaire du même type, mais plus évolué car fixé depuis longtemps.

Ces observations ont été contrôlées au laboratoire par une série d'expériences portant en particulier sur la minéralisation des litières de Filao et de Cassia.

1. — INFLUENCE DU REBOISEMENT EN FILAO SUR LE NIVEAU GÉNÉRAL DE L'ACTIVITÉ BIOLOGIQUE DU SOL (Périmètre de reboisement de Malika).

La bande de protection de Filao étudiée à Malika est constituée par une parcelle de 185 m de large (fig. 3) allongée parallèlement au rivage à une centaine de mètres de la limite de la haute mer.

Cette bande est donc précédée par une zone dunaire sans végétation (prélèvements A) à laquelle succède une zone fixée irrégulièrement par une végétation naturelle composée d'espèces littorales classiques (prélèvements B) déjà décrite plus haut et comprenant notamment : *Alternanthera maritima*, *Sporobolus spicatus*, *Ipomea pes-caprae* et *repens*, *Cyperus spicatus*, *Schizachyrium pulchellum*.

Les prélèvements A et B ont été faits dans ces deux premières zones, les prélèvements C D E F ont été effectués sous le peuplement forestier : les échantillons C correspondant à la partie la plus proche de la mer où les arbres sont littéralement « taillés » par les alizés ; les échantillons D et E cor-

* DÉFINITION DES CARACTÉRISTIQUES BIOLOGIQUES ÉTUDIÉES

A. — Cycle de l'azote.

L'étude de l'évolution de l'Azote et plus particulièrement de sa minéralisation présente un grand intérêt, car cet élément constitue souvent le facteur limitant dans les sols tropicaux.

1. FIXATION DE L'AZOTE EN AÉROBIOSE.

Les densités des *Azotobacter chroococcum*, caractéristiques des sols basiques ou neutres sont exprimées en nombre de micro-colonies par gramme de sol.

2. PROTÉOLYSE.

La densité des germes protéolytiques — germes responsables de la dégradation des grosses molécules azotées — est exprimée en nombre de germes par gramme de sol.

3. AMMONIFICATION ET NITRIFICATION.

a) La densité des Bactéries nitreuses est exprimée en nombre de micro-colonies par gramme de sol.

b) La quantité d'Azote minéral — azote ammoniacal + azote nitrique — est exprimée en mg d'Azote pour 100 g de sol.

c) La quantité d'azote minéralisable — c'est-à-dire de l'azote ammoniacal et de l'azote nitrique apparaissant dans un échantillon après une incubation de 28 jours à 30° C — est exprimée en mg d'azote pour 100 g de sol.

B. — Cycle du carbone.

1. CELLULOLYSE. — La densité des germes cellulolytiques-aérobies est exprimée en nombre de micro-colonies par gramme de sol.

2. Dégradation des sucres en C_{12} . — Le taux de saccharase est exprimé par le nombre de mg de sucres réducteurs provenant du dédoublement de 10 g de saccharose sous l'action de l'enzyme contenu dans 100 g de sol étudié.

3. CARBONE TOTAL exprimé pour mille.

C. — Activité globale du sol.

La densité de la microflore totale est exprimée par le nombre total des bactéries contenues dans 1 gramme de sol.

Le dégagement d'anhydride carbonique d'un sol est fonction de nombreux facteurs, en particulier de l'abondance de la microflore totale et de l'importance des réserves en substances hydrocarbonées facilement utilisables. La quantité de CO_2 dégagée en 7 jours est exprimée en mg de CO_2 pour 100 g de sol.

D. — pH.

Le PH est mesuré au pIimètre Radiometer sur pâte de sol.

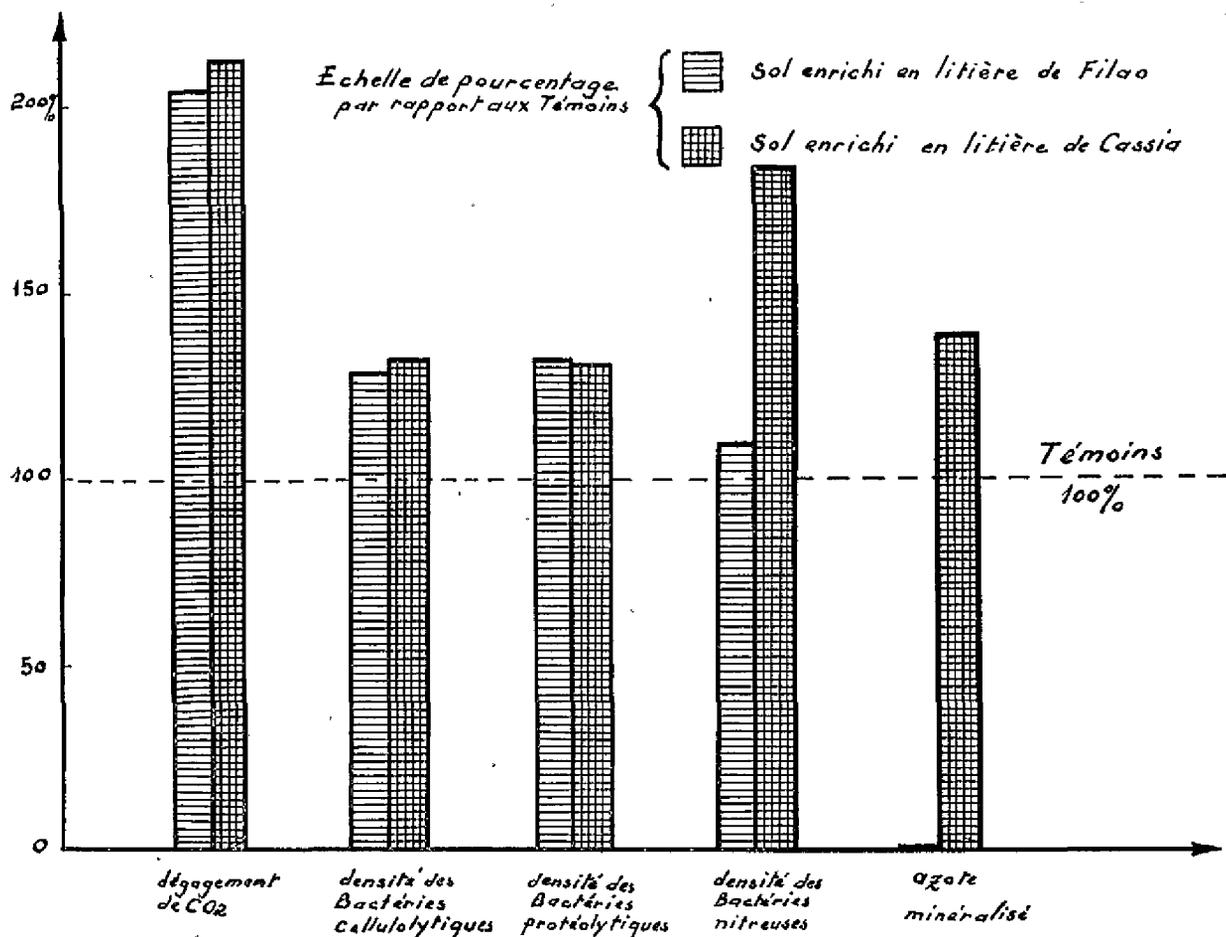


FIG. 3. — Effet de l'incorporation de litière de Filao et de Cassia sur les caractéristiques biologiques d'un sol dunaire évolué.

Pour les trois premières caractéristiques biologiques (CO₂, bactéries cellulolytiques, bactéries protéolytiques), l'accroissement d'activité est sensiblement le même qu'il s'agisse de Filao ou de Cassia. Par contre, la multiplication des bactéries nitreuses est assez peu sensible pour le Filao alors qu'elle est très marquée pour le Cassia. Quant à l'Azote minéralisé, on constate un phénomène de blocage très net lors de l'apport de litière de Filao. Il n'y a donc pas parallélisme entre le développement de l'activité globale (mesurée par le dégagement de CO₂), celui de la cellulolyse et de la protéolyse d'une part et la minéralisation de l'azote d'autre part : on est en présence d'un déséquilibre typique de la microflore tellurique.

Pour l'établissement de ce graphique, on a utilisé non pas les chiffres analytiques bruts, mais leur logarithme et les résultats ont été exprimés en pourcentage par rapport au témoin.

TABLEAU IV. — INFLUENCE DU REBOISEMENT SUR LES CARACTÉRISTIQUES BIOLOGIQUES DU SOL DUNAIRE NON ÉVOLUÉ DE MALIKA

Description sommaire de la végétation	Pré-levement	Azote Chro.	Bact. cell.	Bact. nitr.	Ni-trates	Azote nitrifiable	Sacch.	CO ₂	C pour mille	pH
Dune à la limite de la haute mer : aucune végétation	A	5	80	0	0	0,1	0	4	0,07	8,5
Dune à mi-chemin entre la laisse des hautes mers et la lisière du reboisement : végétation herbacée plus ou moins dense	B	30	550	0	0	0,1	18	7	0,09	8,4
Parcelle reboisée en Filao en 1948	Lisière côté mer	C	120	340	180	0	21	17	1,09	7,8
	Peuplt. de 0 à 6 m de hauteur à 20 m de la lisière	D	650	550	310	0	90	22	1,40	8,0
	Peuplt. de 9 à 11 m de hauteur à 30 m de la lisière sous Filao	E	700	910	2040	0	90	25	1,86	7,9
Parcelle reboisée en Filao en 1949	Peuplement de 11 à 13 m de hauteur	F	830	730	190	0	57	17	0,72	8,1
Parcelle reboisée en 1955	Peuplement ne dépassant pas 0,70 m de hauteur.	G	110	220	20	0	10	9	0,13	8,4

respondant à l'intérieur du reboisement effectué en 1948 ; les échantillons F correspondant à une partie plantée en 1949 mais moins bien venante en raison de l'éloignement probable de la nappe phréatique. La dernière série de prélèvements (G) intéresse la zone dunaire interne où les arbres plantés récemment (1955) atteignent seulement 0,70 m de haut en septembre 1957.

Le tableau IV met en relief l'effet éminemment favorable du reboisement en Filao qui est d'autant plus marqué que la végétation est puissante :

1° **L'activité globale** mesurée par le dégagement de CO₂ est triplée ou quadruplée alors que le taux de Carbone total est au moins décuplé.

2° **La cellulolyse** augmente considérablement en même temps que le taux de **saccharase**.

3° On observe le développement d'un grand nombre de **Bactéries nitreuses** en même temps qu'une augmentation des réserves en **Azote nitrifiable** (4) qui passent de quelques kg à l'hectare à 30 kg en moyenne dans le reboisement.

Le pH du sol étant très élevé, malgré une légère acidification, la minéralisation de l'Azote se fait exclusivement sous forme nitrrique (*).

4° La multiplication des *Azotobacter chroococcum* explique en partie cet enrichissement du sol en Azote.

2. — INFLUENCE COMPARÉE DU FILAO ET DU CASSIA SUR L'ÉQUILIBRE BIOLOGIQUE DES SOLS DUNAIRES DU PÉRIMÈTRE DE REBOISEMENT DE M'BAO.

Les sols du périmètre de reboisement de M'Bao sont constitués par des dunes anciennes qui diffèrent essentiellement des dunes récemment fixées (Malika par exemple) par leur caractère humifère et un pH nettement plus acide.

Les prélèvements ont été effectués au mois d'août 1957 par la méthode des couples dans des parcelles contiguës plantées l'une en Filao en 1949 (parcelle VII, F 49), l'autre en Cassia en 1950 (parcelle VII Ca 50).

L'analyse statistique des résultats qui figure au tableau V prouve que les différences observées ne sont significatives que pour le **cycle de l'azote**.

La supériorité du Cassia sur le Filao est particulièrement nette sur le plan de la **nitrification** : la densité des bactéries nitreuses et le taux d'Azote

(*) Une étude plus poussée de la minéralisation de l'Azote dans ces sols dunaires a montré que l'Azote sous forme ammoniacale ne représentait qu'un stade transitoire fugace. C'est pourquoi l'on observe une excellente corrélation entre la densité (X) des Bactéries nitreuses et le taux (Y) du sol en Azote minéralisable (Azote ammoniacal + Azote nitrrique) le coefficient de corrélation r calculé à partir de 19 prélèvements est égal à 0,6699 ($0,001 < P < 0,01$), l'équation de régression étant de la forme :

$$Y = 0,001006 X + 0,717$$

minéralisable augmentent respectivement de 24 % et 90 % lorsque l'on passe du reboisement de Filao à celui de Cassia.

On observe, en outre, une différence non négligeable de 4/10^e d'unité pH au bénéfice du Cassia.

La multiplication des *Azotobacter Chroococcum* sous Filao serait due au fait que le taux d'Azote minéralisable sous cette essence (73 kg N/ha) est deux fois plus faible que le taux correspondant sous Cassia (139 kg N/ha).

Quant aux autres caractéristiques biologiques, il n'a pas été possible de mettre en évidence de différences significatives en raison de leur très grande variabilité d'un point à un autre des peuplements étudiés. C'est pourquoi nous avons essayé de contrôler par des expériences de laboratoire les observations faites sur le terrain.

3. — ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DE LA MINÉRALISATION DES LITIÈRES DE FILAO ET DE CASSIA

Avant d'examiner les résultats de cette étude, il convient de remarquer à quel point diffèrent les compositions des litières de Filao et de Cassia (*) (tableau VI). Le Filao s'oppose au Cassia par une teneur beaucoup plus faible en matières minérales, P et Ca en particulier, et en matières protéiques ;

son rapport $\frac{\text{matière cellulosique}}{\text{Azote}}$ est de l'ordre de 20, c'est-à-dire près du double de celui du Cassia.

Les analyses effectuées sur des rameaux et feuilles récoltés sur les arbres et non par terre (Tableau VI partie droite) donnent des résultats du même ordre (*).

Le principe de notre étude expérimentale est très simple. Des échantillons du sol à étudier sont enrichis à la dose de 1 % avec de la litière de Cassia ou de Filao finement broyée ; puis après avoir été convenablement humidifiés, ils sont mis à l'étuve pendant 28 jours à 30°. Les témoins sont constitués par des échantillons non enrichis, donc simplement humidifiés. Sur chacun de ces échantillons incubés, on effectue les analyses biochimiques et bactériologiques dont les résultats sont regroupés au Tableau VII.

L'influence particulièrement favorable du Cassia sur la **nitrification** déjà observée en forêt est confirmée ici de façon remarquable ; en effet, dans les échantillons enrichis en Filao, la densité des Bactéries nitreuses augmente seulement de 180 unités alors que, dans les échantillons enrichis en Cassia, cet accroissement dépasse 6.000 unités.

(*) Nous tenons à remercier ici très vivement le laboratoire du Service de l'Élevage de HANN qui a bien voulu se charger d'effectuer ces analyses de litières.

(*) Bien entendu, cette étude comparative des litières a été faite à partir de peuplements contigus installés sur le même sol (périmètre de reboisement de M'BAO).

TABLEAU V. — CARACTÉRISTIQUES BIOLOGIQUES COMPARÉES DU SOL SOUS FILAO ET SOUS CASSIA (M'BAO AVRIL 1955).

Caractéristiques étudiées	Filao	Cassia	Comparaison Filao/Cassia
<i>Activité globale :</i>			
Microflore totale	9.100.000	8.800.000	103 %
Dégagement de CO ₂ en mg de CO ₂ pour 100 g de sol	56,7	55,5	102 %
<i>Cycle du carbone :</i>			
Densité des bactéries cellulolytiques	1.180	1.272	93 %
Saccharase	381	234	163 %
Carbone total pour mille	2,44	2,03	120 %
<i>Cycle de l'azote :</i>			
Densité des <i>Azotobacter Chroococcum</i>	395	57	693 % *
Densité des <i>Beijerinckia indica</i>	0	0	—
Densité des Bactéries protéolytiques	27.000	112.000	24 %
Densité des Bactéries nitreuses	1.940	2.410	80 % *
Azote minéral	0	0	—
Azote minéralisable (en mg/100 g sol)	2,45 (soit 73 kg/ha)	4,65 (soit 139 kg/ha)	53 % *
pH	6,7	7,1	94 % *

Remarque. — Seuls sont significatifs les résultats marqués d'un astérisque : Certaines différences, bien que très importantes (c'est le cas de la microflore protéolytique) ne sont pas significatives en raison de la très grande variabilité des caractéristiques correspondantes.

TABLEAU VI. — COMPOSITION CHIMIQUE DE LITIÈRES DE FILAO ET DE CASSIA (M'BAO, octobre 1957)

Nature de l'analyse	Litière		Feuilles ou jeunes rameaux récoltés sur l'arbre	
	Filao	Cassia	Jeunes rameaux de Filao	Feuilles de Cassia
<i>Composition centésimale :</i>				
Matières minérales (non compris l'insoluble à l'HCl)	22,99	123,91	60,63	72,37
Matières grasses (Extrac. Elther de Pétrole 35-70°)	24,39	15,05	25,28	53,40
Matières protéiques (N x 6,25)	76,43	161,08	83,84	116,40
Matières cellulosiques (Weende)	261,76	211,10	307,63	177,36
Extractif non azoté	607,42	488,87	522,63	580,46
<i>Recherches complémentaires :</i>				
Phosphore (en P)	traces	0,99	0,87	1,10
Calcium (en Ca)	14,02	48,29	16,20	37,32
Ca/P	—	48,3	18,6	33,9
<i>Matière cellulosique :</i>				
Azote	21,4	8,2	22,9	9,5

N. B. — Les résultats sont exprimés en grammes par kilogramme de produit desséché.

TABLEAU VII. — MODIFICATION DES CARACTÉRISTIQUES BIOLOGIQUES D'UN SOL DE M'BAO ENRICHIS OU NON EN LITIÈRE DE FILAO OU DE CASSIA APRÈS UNE INCUBATION DE 23 JOURS

Traitement de l'échantillon de sol	Densité des bactéries protéolytiques	Densité des bactéries cellulolytiques	Densité des bactéries nitreuses	Saccharase	Azote minéralisé en mg/100 g de sol	pH
Sol témoin	13.000	550	120	51	2,0	5,1
Sol enrichi à 1 % en litière de Filao	260.000	3.600	300	219	0	6,3
Sol enrichi à 1 % en litière de Cassia	240.000	4.200	6.300	123	5,8	8,0

Mieux encore, l'étude du taux d'Azote minéralisable met en évidence un blocage de cet élément dans le cas de l'apport de litière de Filao (Tableau VII avant dernière colonne et figure 3). Cette immobilisation de l'Azote minéral n'est que partielle dans les peuplements de M'bao étudiés au § 2 ci-dessus, puisque l'on a trouvé dans leur sol

une réserve d'Azote minéralisable encore élevée (73 kg/ha). Mais il faut tenir compte du fait qu'il s'agit de peuplements jeunes (8 ans) où l'accumulation de couverture morte n'a pas été assez importante pour modifier davantage les processus de minéralisation de l'Azote.

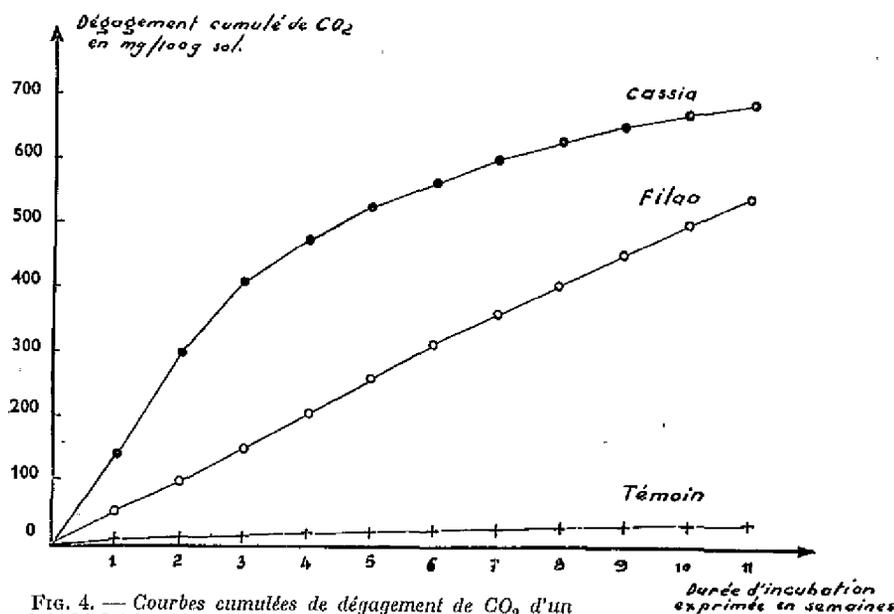


FIG. 4. — Courbes cumulées de dégagement de CO₂ d'un sol de M'BAO enrichi en litière de Cassia et de Filao.

Pour le calcul du dégagement de CO₂ dans les échantillons enrichis, on a déduit du chiffre observé le chiffre correspondant au dégagement dans les témoins (échantillons non enrichis).

En ce qui concerne la cellulolyse et la protéolyse, les observations en forêt sont confirmées par les tests de laboratoire : il n'existe pas de différence significative entre les caractéristiques du sol

sous Filao et les caractéristiques correspondantes sous Cassia.

Par contre, les courbes de dégagement de gaz carbonique (fig. 4) montrent que la décomposition de la litière de Cassia est plus rapide que celle de Filao pendant les trois premières semaines d'incubation. On observe toutefois par la suite un ralentissement marqué, si bien qu'au bout de 11 semaines le rapport :

CO₂ dégagé dans échantillon enrichi en Filao
CO₂ dégagé dans échantillon enrichi en Cassia

atteint 78 % pour le sol de M'Bao (*). Il est d'ailleurs

probable que, si l'expérience avait été poursuivie encore quelques semaines, on aurait obtenu le même dégagement cumulé de CO₂ pour les deux litières. Quoi qu'il en soit, cette dernière observation prouve que le métabolisme du Carbone est sensiblement différent sous Filao et sous Cassia. Mais cette différence est loin d'avoir l'importance de celle qui intéresse le cycle de l'Azote.

4. — CONCLUSION

La fixation des dunes par le Filao a pour effet d'élever considérablement le niveau de l'activité biologique du sol. Mais sous les peuplements purs, on peut craindre l'apparition plus ou moins rapide d'un déséquilibre de la microflore tellurique se traduisant en particulier par un blocage au moins partiel de l'Azote minéral. Les conséquences de ces phénomènes peuvent être difficiles à déceler, notamment lorsqu'il s'agit de jeunes plantations ; mais elles ne manquent pas d'apparaître lorsque celles-ci vieillissent. On pourrait expliquer ainsi le dépérissement de certains reboisements relativement âgés.

Si le Filao constitue donc une excellente essence de fixation, il faut envisager de le remplacer tota-

lement ou en partie en 2^e génération par des espèces dont la litière favorise au lieu d'inhiber la minéralisation de l'Azote. Le Cassia conviendrait parfaitement s'il n'était pas aussi exigeant.

L'existence d'un déséquilibre biologique de nature voisine et également caractéristique a déjà été signalée par A. METRO et G. DE BEAUCORPS et étudiée par H. DE BARJAC et J. POCHON (3) dans des reboisements artificiels au Maroc. De telles anomalies sont vraisemblablement beaucoup plus fréquentes qu'on ne se l'imagine et leur étude systématique pourrait être d'un grand secours pour résoudre divers problèmes posés par la sylviculture des peuplements purs.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) ADAM (J. G.), 1955. — Plantes spontanées et subspontanées des dunes littorales de la Presqu'île du Cap Vert. — *Annales de l'École Supérieure des Sciences de Dakar*, II.
- (2) AUBREVILLE (A.), 1949. — Climats, Forêts et Désertification de l'Afrique Tropicale. — Masson, Paris.
- (3) BARJAC (H. de) et POCHON (J.), 1957. — Équilibre climacique et minéralisation humique. — *Annales de l'Inst. Pasteur*, 93, p. 517-524.
- (4) DROUINEAU (G.) et LEFEVRE (G.), 1949. — Première contribution à l'étude de l'azote minéralisable dans les sols. — *Ann. Agron.* 19 p.
- (5) GORODISKI (A.), ARNAUD (G.), BREUSSE (J. J.), COMBIER (M.), 1952. — Etudes géologiques et hydrologiques de la Presqu'île du Cap Vert. — *Bulletin de la Direction des Mines du Gouvernement Général de l'A. O. F.*, 10.
- (6) POCHON (J.) et BARJAC (H. de) 1958. — *Traité de Microbiologie des sols*. — Masson, Paris.

(*) Dans le cas des sols dunaires non évolués de MALIKA, on obtient un pourcentage de 73 % donc très voisin.