

Photo Benoît de Coignac.

*Analyse de carences en vases de végétation. Essai sur le sol de Sambaina.*

# FERTILISATION DES PLANTATIONS DE PINS A MADAGASCAR

par C. BAILLY (1), G. RAMANANTSOAVINA (2), G. BENOÎT de COIGNAC (3),  
A. RAKOTOMANAMPISON (4), C. MALVOS (5).

(1) Conservateur des Eaux et Forêts O.M., Ingénieur de Recherches au Centre Technique Forestier Tropical, ancien Directeur du C.T.F.T. Madagascar.

(2) Ancien Directeur des Eaux et Forêts et de la Conservation des Sols, Madagascar.

(3) Ingénieur du Génie Rural, des Eaux et des Forêts, ancien ingénieur de recherches au C. T. F. T., Madagascar.

(4) Chef du Centre National des Recherches Forestières et Piscicoles, Madagascar.

(5) Ingénieur du Génie Rural, des Eaux et des Forêts. Ingénieur de recherches au Centre National des Recherches Forestières et Piscicoles, Madagascar.

## SUMMARY

### FERTILIZATION OF THE PINE PLANTATIONS IN MADAGASCAR

Major pine replanting programmes (*Pinus kesiya* and *Pinus patula*) are being undertaken on the high plateaux of Madagascar. Experiments on the fertilization of plantations have demonstrated without ambiguity the advantages of phosphopotassic fertilization. This initial fertilization imparts an increase in height of between 25 and 30 %.

Tests on the effect of using nitrogen in addition to PK fertilization are to be continued, though nitrogen does not appear to have the spectacular effect on pines which has been noted with eucalyptus. Calcium and magnesium appear to have no effect. Tests with potassic fertilization do not give better results in the form of sulphate than in that of chloride. The study of the practical methods of application, the localization of fertilizers and the results achieved by tests on the effect of elements and their interaction have made possible the large-scale application of fertilization to the periphery of the industrial re-forestation of the Upper Mangoro. Research to elucidate a number of points is, however, to continue.

As regards the fertilization of stands subsequent to plantation (\*pulling new life into\* unthrifty plantations), experiments have shown that the use of a phosphopotassic fertilizer has positive effects whereas that of phosphorus appears to be ineffective.

## RESUMEN

### FERTILIZACION DE LAS PLANTACIONES DE PINOS EN MADAGASCAR

Se han emprendido grandes programas de repoblación forestal de pinos (*Pinus kesiya* y *Pinus patula*) en los altiplanos de la isla de Madagascar. Diversas experimentaciones acerca de la fertilización en la plantación son seguidas con suma atención desde hace ya algunos años, lo cual ha permitido establecer de forma patente y sin ambigüedades el interés de la fertilización fosfopotásica. Esta fertilización inicial aporta un crecimiento en altura de un 25 a un 30 %.

Los ensayos acerca del efecto de la aportación de nitrógeno, como complemento de la fertilización PK deben ser proseguidos, ya que el nitrógeno no parece tener sobre los pinos el efecto espectacular ejercido en los eucaliptos. La aportación de calcio y de magnesio no parece tener efecto alguno. Por lo que se refiere a la fertilización potásica, los ensayos no parecen demostrar ninguna superioridad de la aportación en forma de sulfato en relación con el cloruro. El estudio de las modalidades prácticas de la aportación, de localización de los fertilizantes y los resultados conseguidos por los ensayos respecto al efecto de los elementos y su propia interacción han permitido la aplicación de la fertilización abundante en los perímetros de repoblación forestal de carácter industrial del Mangoro Superior. Las investigaciones deben proseguirse, no obstante, con objeto de precisar ciertos puntos.

En materia de fertilización de las plantaciones después de la repoblación (reactivación de las plantaciones que se dan mal), los ensayos han demostrado un efecto positivo de la aportación de una fertilización fosfopotásica, mientras que la aportación de fósforo solo parece ser absolutamente ineficaz.

## AVANT-PROPOS

Le problème de la fertilisation des peuplements forestiers, soit à la plantation, soit en cours de révolution, abordé depuis assez peu de temps, prend rapidement une importance de plus en plus grande.

Les prévisions de demande de matière ligneuse à moyen terme, et la crise actuelle de l'énergie qui pourrait bien apporter au matériau bois une valeur nouvelle lui donnent une acuité particulière.

Un symposium international F. A. O./I. U. F. R. O. sur l'utilisation des engrais en forêt s'est tenu en décembre 1973 à Paris. Les problèmes de fertilisation des reboisements réalisés dans les pays tropicaux ont fait l'objet d'un point particulier de l'ordre du jour (point 14) et l'intérêt de l'emploi des fertilisants a été mis en évidence par de nombreux auteurs.

Il y a déjà plusieurs années que la fertilisation

des peuplements forestiers figure parmi les thèmes de recherche du Centre Technique Forestier Tropical et que nous l'étudions dans nos Centres et points d'essais en zone tropicale.

Il nous paraît intéressant de reprendre ici les communications faites par des Ingénieurs du C. T. F. T.-Madagascar et les Ingénieurs de la Direction des Eaux et Forêts et de la Conservation des Sols de Madagascar sur les recherches et les réalisations pratiques en matière de fertilisation forestière sur les pins tropicaux. C'est, de plus, un excellent exemple de l'utilisation immédiate de la recherche appliquée par l'économie nationale.

J. GROULEZ,

Directeur Général Adjoint  
du Centre Technique Forestier Tropical.

## GÉNÉRALITÉS

Les premières introductions de résineux exotiques à Madagascar remontent à 1914 ; à partir de 1953, devant les succès obtenus en station avec les Pins, les travaux de reboisement ont pris une grande ampleur sur les Hauts Plateaux et des périmètres importants ont été ouverts (Matsiatra 30.000 ha fin 1973. Mangoro projet de 80.000 ha démarré en 1968 dont 16.000 ha plantés fin 1973).

Les premiers essais de fertilisation minérale à la plantation associée à un bon travail du sol ont été réalisés par le Centre Technique Forestier Tropical à partir de 1963 à la station forestière de Manankazo sur *Pinus patula*. Puis à partir de 1968, le C. T. F. T. s'est vu confier par la Direction des Eaux et Forêts la réalisation des essais d'accompagnement des grands reboisements en *Pinus kesiya* (1) qui démarraient dans la région du Mangoro, du Vakinankaratra et de Mandialaza.

Les expérimentations sont réalisées sur un certain nombre de périmètres ou de stations forestières, soit sur les Hauts Plateaux (Manankazo, Matsiatra, Vakinankaratra) soit dans la dépression du Mangoro (Mangoro, Besakay, Mandialaza).

Sur les Hauts Plateaux la station de Manankazo, située à 125 km au nord de Tananarive, est à une altitude de 1.500 m, la pluviométrie moyenne annuelle s'établit aux alentours de 1.700 mm concentrés sur 5 mois (novembre à mars), les mois de saison sèche sont peu arrosés (moins de 15 mm). L'humidité relative demeure toujours assez élevée, la nuit et le matin, l'ensoleillement et le vent qui dissipent les brouillards matinaux font descendre ce taux à des chiffres assez bas en septembre et octobre. La température moyenne annuelle est de 17° 3 ; il y a une saison fraîche marquée, la moyenne des minima est de 11° 5, la moyenne des maxima est de 23° 2, le minimum absolu enregistré sur 11 ans étant de + 1°.

Les sols, formés sur granit migmatitique, sont des sols brun-jaune ferralitiques lessivés à PHI bas, capacité d'échange faible, taux de matière organique variable mais souvent assez important, avec présence fréquente dans le profil d'un niveau gravillonnaire d'épaisseur variable. Les diagnostics de carences par la méthode des vases de végétation font apparaître une carence très grave en phosphore et en calcium, carence grave en potassium, carences nettes en soufre et magnésium, pas de carence nette en oligo-éléments.

La végétation naturelle est constituée par une maigre steppe à graminées à base de *Loudetia*

*stipoides*, *Aristida multicaulis*, *Elionurus tristis*, parcourue traditionnellement par les feux.

Les reboisements de la Haute Matsiatra se trouvent dans la partie sud des Hauts Plateaux, région de Fianarantsoa. L'altitude des terrains reboisés est située entre 1.100 et 1.500 m, la pluviométrie est de l'ordre de 1.500 à 1.700 mm, avec une saison des pluies nette (novembre à mai) et une saison sèche d'autant plus marquée que l'on va vers l'ouest.

L'humidité relative demeure toujours élevée, les crachins et brouillards non négligeables, les caractéristiques de température sont voisines de celles de Manankazo. Les sols formés sur le socle ancien sont des sols ferralitiques jaune sur rouge désaturés et pauvres en éléments minéraux. Comme pour Manankazo les diagnostics en vases de végétation ont fait apparaître une très grave carence en potassium, moyenne carence en magnésium. Les reboisements ont été installés soit sur des landes à *Philippia* associés à *Helichrysum* soit sur des steppes à graminées à base de *Loudetia stipoides*.

Le périmètre du Vakanankaratra est lui aussi situé sur les Hauts Plateaux à environ 100 km au sud de Tananarive, ses caractéristiques climatiques sont voisines de celles de Manankazo avec une altitude un peu plus élevée. Les sols, toujours dérivés de roche mère granitique, sont voisins de ceux de la station de Manankazo avec les mêmes carences en éléments minéraux.

Les autres points d'essai se rattachent à la zone du haut Mangoro (Mangoro, Mandialaza, Besakay) située dans la dépression fluvio-lacustre du Lac Alaotra, à l'est de Tananarive. L'altitude moyenne est de l'ordre de 900 m, le relief mou au sud devient plus accidenté sur la partie nord du périmètre. La pluviométrie moyenne varie de 1.200 à 1.500 mm diminuant lorsqu'on va vers le nord, avec 6 mois à pluviométrie inférieure à 50 mm. La moyenne annuelle des températures est de 19°, la moyenne des maxima oscille de 28° 1 à 30° 3, celle des minima de 17° 2 à 10° 5. La température minimale observée depuis 1945 a été de + 1° 2.

Les sols formés sur alluvions fluvio-lacustres ou migmatites sont le plus généralement des sols ferralitiques, lessivés, à PHI bas et capacité d'échange faible, avec souvent dans le profil, présence d'un niveau gravillonnaire. Les essais en vase de végétation ont fait apparaître une très forte carence en phosphore et en potassium dans le sud du périmètre, très forte aussi en phosphore et forte en potassium dans le nord du périmètre. Les sols destinés au reboisement sont généralement recouverts de steppe à graminées, ou sont d'anciens sols de culture de manioc.

(1) *Pinus kesiya* Royle ex Gordon = *Pinus khasiya* (Royle).

# EXPÉRIMENTATIONS SUR LA FERTILISATION DE DÉPART

## ESSAIS SUR L'EFFET GLOBAL DES ÉLÉMENTS PRINCIPAUX

### — Essai n° 5 de Manankazo.

C'est le premier essai factoriel NPK installé sur *Pinus patula* à Madagascar. Les doses et formes d'apport sont les suivantes :

- N : perlurée à 20 g/plant soit 9 g — N ;
- P : supertriple à 50 g/plant et hyperphosphate à 100 g/plant soit 52 g — P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ;
- K : sulfate de potasse à 50 g/plant soit 24 g — K<sub>2</sub>O.

Les huit traitements testés dans un dispositif comportant 10 blocs incomplets équilibrés, furent appliqués en épandage localisé (1) sur des parcelles unitaires de 50 × 50 m.

La plantation a été effectuée sur sous-solage + billonnage en décembre 1966. Les premières mensurations ont été réalisées en juin 1968 puis chaque année jusqu'en 1973.

Notons tout d'abord qu'une mortalité importante apparut dès la première année sur les traitements N et NK. En ce qui concerne les hauteurs, des différences importantes se manifestèrent dès le début et elles se sont maintenues jusqu'à présent avec une grande constance. Le tableau n° 1 donne les hauteurs moyennes en 1968 et 1973 pour chaque traitement.

L'analyse de variance réalisée sur ces résultats nous montre :

- Un effet « Traitements » toujours THS (3) ;
- Des effets principaux NP et K aussi THS mais si l'effet N, dépressif au début s'atténue peu à peu, celui de P, reste très positif et celui de K, plus lent à s'établir, devient important dès la 4<sup>e</sup> année. Les interactions PK et surtout NK restent faibles ou nulles, par contre l'interaction

NP très importante au début s'atténue peu à peu (en même temps que l'effet N, négatif sans P et positif ou nul avec P) (4).

Signalons enfin que l'étude des coefficients de variations de chaque traitement montre un effet remarquable de l'apport de P sur l'homogénéisation du peuplement (Cv 1973 : sans P = 31 %, avec P = 17 %).

### — Essai n° 1 Mangoro.

Compte tenu de l'effet décevant de l'apport d'Azote observé dans l'essai de Manankazo et de l'importance probable du calcium et du magnésium dans des sols souvent très carencés en ces éléments, le premier essai mis en place sur *Pinus kesiya* au chantier du Mangoro en 1968 fut un essai factoriel « phosphate-potasse-dolomie » (auquel on rajouta 2 traitements « chaux » pour essayer de préciser l'effet éventuel du calcium). Le dispositif qui comporte donc 4 blocs de 10 parcelles (60 × 30 m) fut installé sur un ancien terrain de culture abandonné et sur un travail du sol alliant sous-solage et labour en bande. Les doses d'engrais apportées au trou de plantation sont les suivantes :

(1) P et K dans le potet avant plantation.

N en deux épandages superficiels en février et décembre 1967.

(2) Ce test de Duncan n'est applicable que pour un dispositif en blocs complets. Nous l'appliquerons cependant car il est assez parlant et nous pouvons considérer que nous avons 5 répétitions de huit traitements.

(3) THS : Très Hautement Significatif (seuil 1 ‰).

(4) Pour pouvoir poursuivre une exploitation de cet essai en tant que factoriel NPK il est envisagé de réaliser un nouvel apport d'engrais dans chaque parcelle.

TABLEAU N° 1. — ESSAI N° 5-MANANKAZO

Traitements	N	NK	O	K	P	NP	PK	NPK
Hauteur 1968 (1 an 1/2) (m)	0,26	0,35	0,56	0,65	0,95	0,98	1,06	1,21
Hauteur 1973 (6 ans 1/2) (m)	2,47	3,77	3,57	4,51	4,83	4,74	6,03	6,21

NOTA (2) : Hauteurs moyennes soulignées = différences non significatives au seuil 5 %.

- Ph = phosphates : 50 g supertriple,  
50 g hyperphosphate  
soit 38 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>;
- K = potasse : 50 g sulfate de K soit  
24 g K<sub>2</sub>O ;
- Dol = dolomie : 155 g dolomie locale  
soit 34 g MgO ;
- Ch = chaux : 72 g chaux éteinte soit  
47 g CaO.

L'épandage et la plantation eurent lieu en décembre 1968.

Les premières mensurations ont été réalisées en juillet 1969 puis chaque année jusqu'en 1973. Une mortalité moyenne de l'ordre de 3 % apparut dès le début mais de moitié moins importante sur les traitements avec P que sur ceux sans P. Le tableau n° 2 donne les hauteurs moyennes en 1969 et en 1973 pour chaque traitement.

Six mois après la plantation, l'effet traitement était THS et il l'est resté jusqu'à présent. L'effet principal des phosphates apparaît dès le début (+ 30 %) et se maintient ensuite. L'effet potasse par contre, nul au premier comptage, devient peu à peu prédominant (+ 70 %). Enfin les effets dolomie et chaux sont encore nuls ou peu importants. La fumure phospho-potassique est, comme à Manankazo, la plus efficace puisqu'elle double presque la croissance moyenne tout en réduisant, par ailleurs, de plus de moitié, l'hétérogénéité du peuplement (Coefficient de variation 1973 : sans PK = 43 %, avec PK = 19 %).

#### — Essai n° 1 Vakinankaratra.

Cet essai, installé deux ans après l'essai n° 1 du Mangoro et sur des sols très différents, est aussi un essai factoriel « phosphate-potasse-dolomie » sur deux espèces à la fois : *P. patula* et *P. kesiya*.

Le dispositif comporte 4 blocs complets de 8 traitements subdivisés en 2 sous-parcelles

(30 × 30 m) suivant l'espèce. Les doses apportées au trou de plantation sont les suivantes :

- phosphates : supertriple, 50 g,  
hyperphosphate, 100 g soit  
52 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>,
- potasse : sulfate de K, 50 g soit 24 g  
K<sub>2</sub>O,
- dolomie : dolomie locale, 100 g soit 30 g  
CaO.

La plantation eut lieu en janvier 1971 et la première mensuration en juillet 1972. Malheureusement, en août 1972, un feu de brousse entra dans l'essai et détruisit totalement un des blocs et partiellement 2 autres, ce qui rend cet essai pratiquement inexploitable.

Les premiers résultats montraient cependant un effet très important des phosphates et aucune action de la potasse ni de la dolomie. Ceci confirme bien les résultats de l'Essai n° 5 de Manankazo installé sur des sols assez semblables.

#### — Essai n° 7 Vakinankaratra.

L'essai précédent ne pouvant plus donner les résultats escomptés, un deuxième essai du même type fut installé dès 1972 dans la même région, sur *P. patula* seulement. On reprit pour cet essai le même dispositif et les mêmes traitements que ceux de l'essai n° 5 de Manankazo (voir ci-dessus) avec 8 blocs incomplets équilibrés et 8 traitements factoriels NPK.

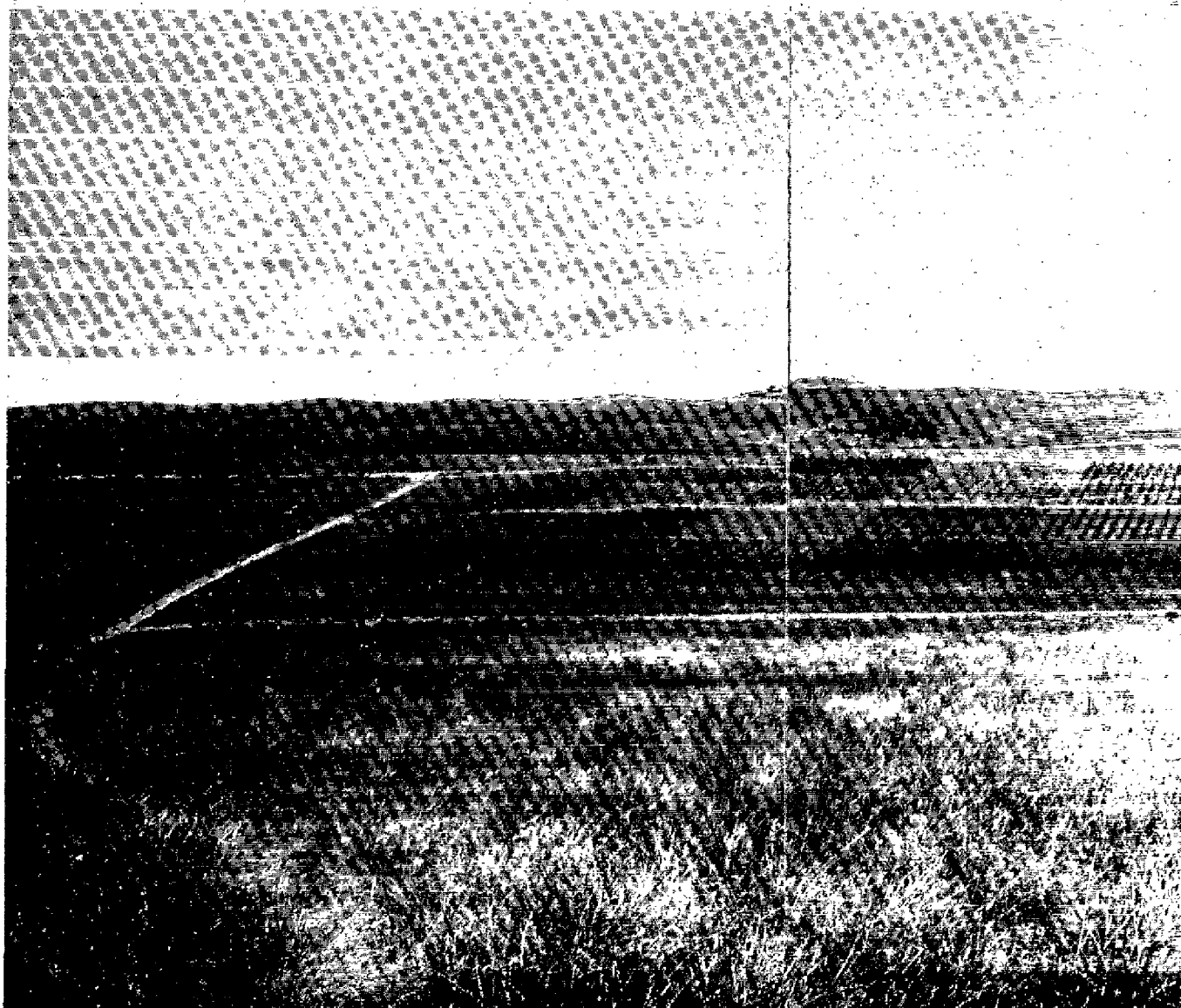
Les doses d'engrais apportées au trou furent les mêmes sauf pour N qui fut épandu en surface et en 2 fois sous forme d'Ammonitrate (8 g de N).

La plantation eut lieu en janvier 1973 et une 1<sup>re</sup> mensuration fut réalisée en juin 1973. Ces résultats, 6 mois après plantation, montrent déjà un effet positif THS du phosphore et HS de l'azote et une interaction NP encore positive et THS. Par contre, l'effet K et les autres interactions sont nuls ou très faibles.

TABLEAU N° 2. — ESSAI N° 1-MANGORO

Traitements	O	Dol	K	K Ch	K Dol	Ph	Ph Dol	Ph K	Ph K Ch	Ph K Dol
Hauteur 1969 (6 mois) (m)	0,19	0,17	0,19	0,17	0,20	0,26	0,25	0,28	0,26	0,27
Hauteur 1973 (4 ans 1/2) (m) .....	2,15	3,11	4,66	4,63	4,71	3,58	3,58	5,22	5,14	5,12

nota : Hauteurs moyennes soulignées = différences non significatives au seuil 5 %



*Cinq types de travail du sol, avec et*

— **Essai n° 1 Mandialaza.**

Cet essai sur *P. kesiya* a été installé sur le chantier Ouest-Mangoro en même temps que l'essai n° 7 du Vakinankaratra et il reprend exactement le même protocole et les mêmes doses d'engrais. La

plantation eut lieu en février 1973 et une première mensuration fut réalisée en juin 1973 (5 mois après). Seul l'effet P apparaît déjà de manière nette (THS), les autres effets et les interactions sont pour le moment insignifiants. En 1974, l'effet potasse apparaît.

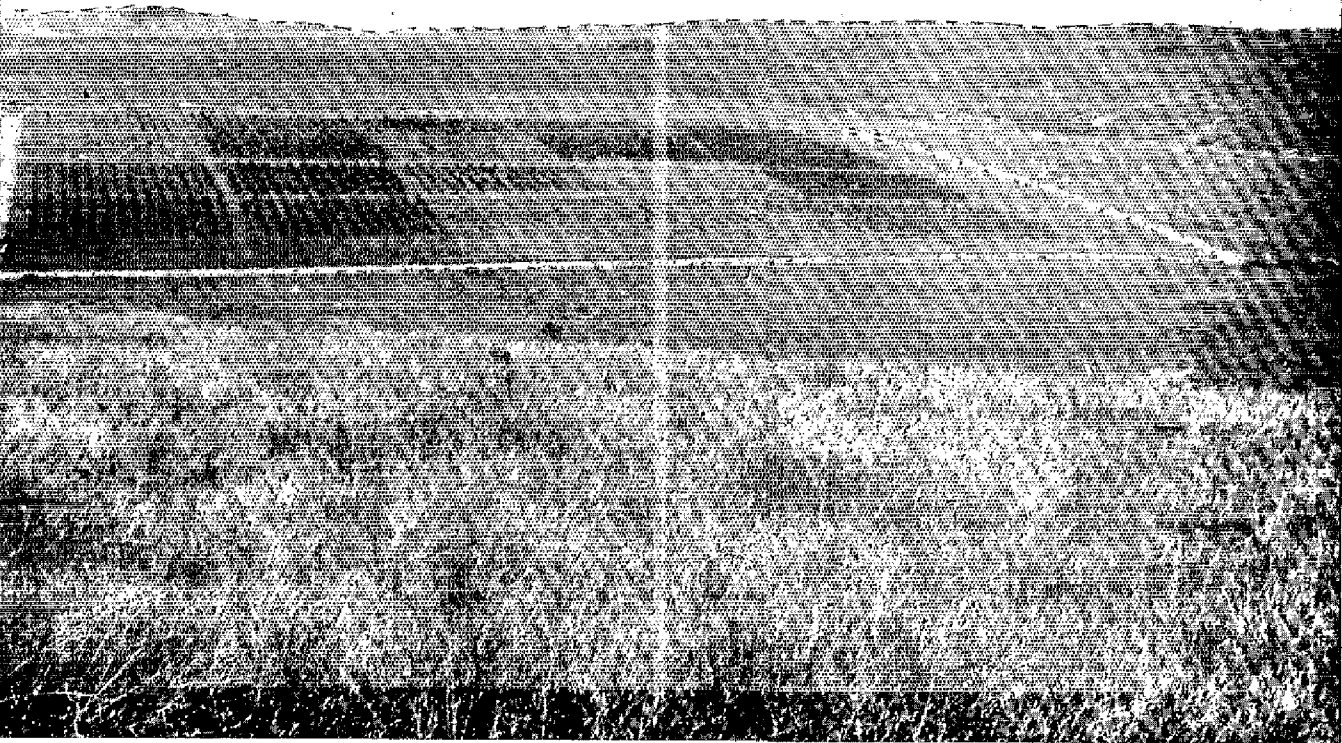
**ESSAIS COMPLÉMENTAIRES  
SUR LES ÉLÉMENTS PRINCIPAUX**

— **Le Phosphore : formes et doses d'apport.**

Les essais de base détaillés ci-dessus nous ayant tous montré l'effet global immédiat et constant de l'apport de phosphore, cet élément fut l'objet,

très rapidement, d'un certain nombre d'essais complémentaires destinés à préciser les formes et des doses les plus appropriées à cet apport, suivant les types de sols rencontrés.

L'Essai n° 8 de Manankazo, installé dès 1969, se



engrais. Essai n° 2, Vakinankaratra.

Photo Benoit de Coignac.

proposait de tester, dans un dispositif en lattice carré équilibré, la réponse du *Pinus patula* à 3 doses d'apport (30, 60 et 90 g  $P_2O_5/pl$ ), sous deux formes : hyperphosphate et scories.

En juin 1973, 3 ans 1/2 après la plantation, un léger effet « doses » commence à apparaître ainsi qu'un très faible avantage de l'hyperphosphate sur les scories mais l'effet global du phosphore est le seul qui soit vraiment appréciable.

L'Essai n° 5 du Mangoro, installé à la même époque, comporte lui aussi 3 doses d'hyperphosphate (30, 60 et 120 g  $P_2O_5$  par plant) ainsi que deux autres formes d'apport : le supertriple et le phosphate d'os. Il teste aussi les interactions éventuelles avec potasse et dolomite (en split-plot).

En 1973, seul l'effet global du phosphore est très hautement significatif mais aucune différence

n'apparaît encore entre doses ni entre formes. De plus un effet potasse important et un effet azote (du phosphate d'os) fugace confirment les résultats obtenus par ailleurs.

#### — La Potasse : formes et doses d'apport.

Les premiers essais ayant montré un effet global de la potasse progressif mais parfois plus important encore que l'effet Phosphore, il était intéressant de déterminer très rapidement les formes et les doses utilisables en grand sur les plantations.

L'Essai n° 7 de Manankazo, planté en janvier 1970 avec *P. patula*, puis l'Essai n° 12 du Mangoro, planté en janvier 1971 avec *P. kesiya*, se proposaient donc de comparer deux formes : sulfate (utilisé classiquement) et chlorure (moins cher

mais toxique pour les racines) à deux doses d'apport (24 g et 48 g  $K_2O/pl$ ) tout en faisant varier le temps qui séparait l'épandage de la plantation. Notons tout de suite qu'aucune mortalité particulière n'apparut sur aucun des traitements (même avec 60 g de ClK apporté le jour même de la plantation). En ce qui concerne la croissance, seul l'effet global de la Potasse apparaît nettement, mais doses et formes ne présentent encore que des différences trop faibles pour en tirer d'autres conclusions que la parfaite innocuité du Chlorure dans les conditions de sols et de climats locales, ce qui est très important du point de vue économique.

— L'Azote : formes et modalités d'apport.

En ce qui concerne la fertilisation azotée, les premiers essais nous ont montré :

- que l'épandage fractionné et superficiel était coûteux ;
- que des risques de mortalité pouvaient apparaître ;
- que son effet n'était positif qu'une fois les autres carences supprimées.

Vu l'importance de cet élément en matière agronomique, il était intéressant de vérifier sous quelles formes et suivant quelles modalités on peut espérer un effet bénéfique maximum.

Dans l'Essai n° 13 de Manankazo, nous avons testé sur *P. patula* l'effet d'un apport sous deux formes (Urée ou Ammonitrate) soit au trou avant plantation soit superficiel après plantation.

Un essai identique a été installé la même année (janvier 1971) au Mangoro sur *P. kesiya* (Essai n° 13). De plus, l'effet global de l'azote n'ayant pas encore été testé sur cette station, un essai d'épandage fractionné (Essai n° 10) a été mis en place en combinaison avec les autres éléments P, K et dolomie (en split-plot).

Ces essais qui n'ont été l'objet que de 2 mensurations, ne montrent pour le moment aucune différence nette entre formes, doses et modalités d'apport ; l'effet global azote restant de toute façon assez modeste. Ceci milite bien sûr pour un apport au trou avant plantation et si possible sous forme d'un engrais complet. C'est ce qui se pratique déjà sur le chantier de Mandialaza.

### ESSAIS SUR L'EFFET GLOBAL DE LA FERTILISATION ET DU TRAVAIL DU SOL

— Essai n° 3 de Manankazo.

C'est le premier essai factoriel, combinant deux modes de travail mécanique du sol (SS = Sous-Solage et B = Billonnage) avec l'apport d'une fertilisation minérale complète dans le potet de plantation. Chaque facteur y est testé à 2 niveaux (absence ou présence) (1) et la formule d'engrais est la suivante (par plant) :

- N = perlurée à 20 g soit 9 g — N ;
- P = supertriple à 50 g et hyperphosphate à 50 g soit 38 g —  $P_2O_5$  ;
- K = sulfate de K à 50 g soit 24 g —  $K_2O$ .

(1) T = Trouaison simple (40 × 40 × 40 cm) étant considérée comme absence de travail mécanique.

Le dispositif comprend 4 blocs complets de 8 parcelles (2<sup>3</sup> traitements). Il a été planté avec *P. patula* en décembre 1965. Une première mensuration fut réalisée en juillet 1967 puis chaque année jusqu'en 1973. Les résultats de la dernière mensuration sont repris dans le tableau n° 3.

L'effet de la fertilisation est très important dès les premiers comptages. Le gain global passe de 40 cm à 1 an 1/2 à 1,60 m à 5 ans 1/2 puis il se stabilise peu à peu, ce qui permet de dire qu'à l'heure actuelle il a déjà fait gagner 2 ans au peuplement.

En ce qui concerne le travail du sol le tableau n° 3 nous montre que celui-ci est relativement plus efficace sans fertilisation qu'avec, mais que la combinaison d'une bonne préparation et d'un

TABLEAU N° 3. — ESSAI N° 3-MANANKAZO

Fertilisation	Sans engrais				Avec engrais			
	T	SS	B	SS + B	T	SS	B	SS + B
Travail du sol (1)								
Hauteur 1973 (7 ans 1/2) (m)	4,90	5,67	6,49	6,06	6,77	7,41	7,82	7,90
Gain (Trav. du S). . . . .	—	+ 16 %	+ 32 %	+ 24 %	—	+ 10 %	+ 16 %	+ 17 %

(1) T = Trouaison, SS = Sous-Solage, B = Billonnage.



apport d'engrais permet de gagner 3 m en hauteur (+ 60 %) soit plus de 3 ans.

Notons enfin que la fertilisation a une action non négligeable sur l'homogénéisation du peuplement, puisque, dès 1967, le coefficient de variation moyen passe de 32 à 26 % et qu'actuellement il est encore de 17 % sans engrais, contre 12 % avec engrais.

— Essai n° 6 de Manankazo.

Cet essai, planté en *P. patula* en janvier 1969, n'est qu'un complément de l'essai n° 3 précédent. Aux deux traitements extrêmes : trouaison et sous-solage + billonnage, on a ajouté deux modes de préparation non encore testés : le labour en bande (Afrique de l'Est) et le sous-solage + sarclage (Matsiatra). Les résultats, après 4 mensurations, confirment ceux de l'Essai n° 3 en ce qui concerne l'effet global de la fertilisation : gain de 1,40 m à 4 ans 1/2 et diminution de l'hétérogénéité (de 20 % à 15 %). En ce qui concerne les deux préparations testées, elles diffèrent peu respectivement du billonnage et du sous-solage simple, les meilleurs résultats étant toujours obtenus avec le sous-solage + billonnage fertilisé (gain de 2 m, 15 à 4 ans 1/2.)

— Essai n° 2 du Mangoro.

Dans cet essai, planté en janvier 1969 en *P. kesiya*, nous avons testé, sur un sol très différent de celui de Manankazo, 5 des méthodes de travail du sol définies ci-dessus dans un dispositif comportant 4 blocs complets et 5 traitements (Voir tableau n° 4, p. 22).

La fertilisation, introduite en sous-traitements comprend :

- phosphates : supertriple, 50 g ;  
Hyperphosphate, 50 g soit 38 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ;
- potasse : sulfate de K, 50 g soit 24 g K<sub>2</sub>O ;
- dolomie : dolomie locale 100 g soit 22 g MgO.

Les mensurations ont été réalisées chaque année depuis juin 1970. Les résultats de la dernière mensuration sont donnés dans le tableau n° 4.

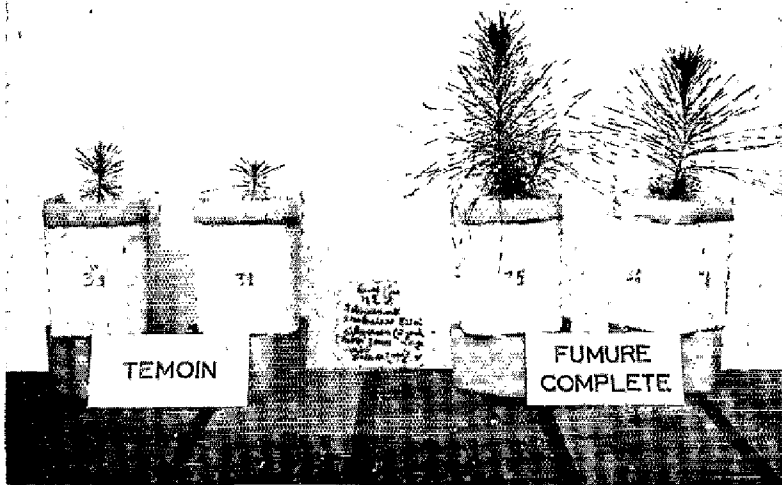
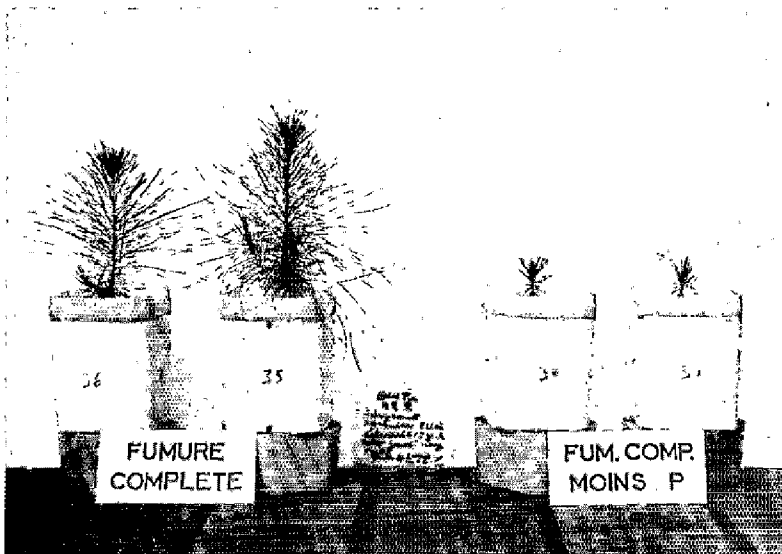


Photo Benoit de Coignac.

Analyses de carences en vases de végétation. Effet de la fumure complète.

Analyse de carences en vases de végétation. Effet de carence en phosphore.

Photo Benoit de Coignac.



Analyse de carences en vases de végétation. Effet de diverses carences.

Photo Benoit de Coignac.

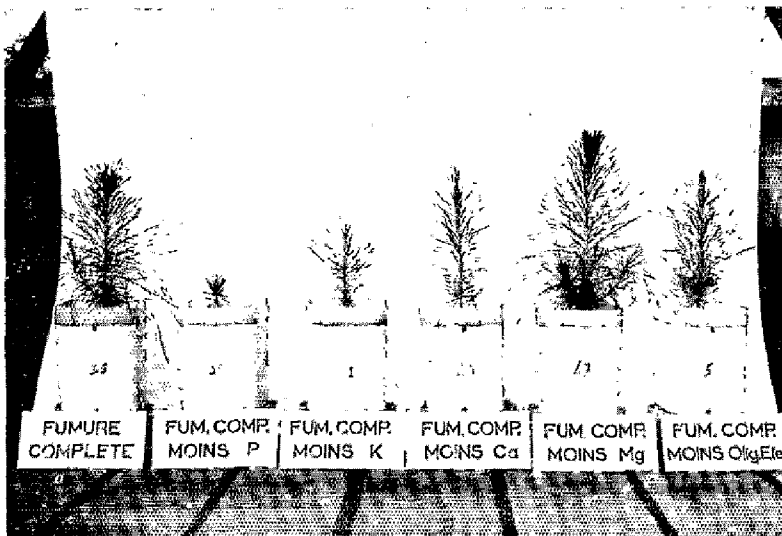


TABLEAU N° 4. — ESSAI N° 2-MANGORO

Fertilisation	Sans engrais					Avec engrais				
	T	SS	LB	B	SS + B	T	SS	LB	B	SS + B
Hauteur 1973 (4 ans 1/2) (m).....	1,43	1,61	2,04	2,41	2,45	3,70	3,86	3,62	3,54	3,94
Gain (Trav. du S.).....	—	+ 13 %	+ 43 %	+ 69 %	+ 71 %	—	+ 4 %	— 1 %	— 4 %	+ 6 %

(1) T = Trouaison, SS = Sous-Solage, B = Billonnage, LB = Labour en Bande.

Encore plus qu'à Manankazo l'effet de la fertilisation se fait sentir ici à la fois dans son action globale (gain de 1,75 m) et dans ses interactions avec le travail du sol. Ce dernier, très positif (surtout le billonnage) sans fertilisation, devient pratiquement sans effet dès que l'on fertilise. En ce qui concerne l'homogénéité des peuplements, celle-ci étant assez mauvaise ici dans son ensemble (graines tout-venant), la fertilisation est encore plus efficace qu'à Manankazo puisque le coefficient de variation passe en 1973 de 38 % sans engrais à 22 % avec engrais.

— Essai n° 2 du Vakinankaratra.

Cet essai reprend les mêmes traitements et le même dispositif que celui du Mangoro. Il a été planté en *P. patula* en janvier 1971. Deux mensurations ont été effectuées en juin 1972 et 1973. Elles nous confirment les résultats obtenus sur

les autres stations (à 2 ans 1/2 : engrais = 1,74 m, sans = 0,98 m) avec une action encore plus importante du travail du sol (induré en surface). L'effet de la fertilisation sur le coefficient de variation est là encore remarquable (31 % sans et 18 % avec engrais en 1973).

— Essai n° 1 de Besakay.

Planté en janvier 1971 avec *P. kesiya* dans le nord du chantier du Mangoro, cet essai reprend à très peu près, le même protocole que les essais ci-dessus : 4 blocs, 2 sous-blocs (Engrais) et 4 travaux du sol (T, SS, LB, SS + B). Les mensurations de juin 1972 et 1973 montrent une croissance globale bien meilleure sur ces sols moins carencés, d'où un effet moins important de la fertilisation (à 2 ans 1/2 : Engrais = 2,17 m, sans = 1,82 m) et aussi du travail du sol qui, comme au Mangoro, reste relativement plus efficace sans qu'avec engrais.

ESSAIS SUR LES MODALITÉS  
ET LA LOCALISATION DES APPORTS D'ENGRAIS

Dans tous les essais précédemment décrits, l'apport d'engrais a été réalisé en localisation, dans le potet de plantation. Le passage à la fertilisation à grande échelle nous a amenés à tester différents modes d'épandage plus ou moins mécanisables afin d'en réduire le coût.

— Essai n° 2 de Manankazo.

Cet essai est un des plus anciens installés à Madagascar sur les problèmes de fertilisation. Entre autres traitements, il compare l'effet d'un apport d'engrais complexe (NPK : 5-22-14) soit au potet de plantation (170 g/plant) soit en épandage diffus dans la raie de sous-solage (à la même dose moyenne). La plantation eut lieu en janvier

1965 avec *P. patula*. Le tableau n° 5 donne les hauteurs moyennes des premières (1962) et dernières (1973) mensurations.

TABLEAU n° 5. — ESSAI N° 2-MANANKAZO

Traitement	1 an 1/2	7 ans 1/2
Sans engrais .....	0,41 m	5,06 m
Engrais diffus .....	0,84 m	7,02 m
Engrais au trou .....	0,97 m	7,71 m

Nous voyons que si l'effet global de la fertilisation est important puisque le gain dépasse 2 m en moyenne depuis 1969, l'effet de la localisation est

beaucoup moins important puisque de 15 % à 1 an 1/2, il n'est plus que de 10 % actuellement (ce qui n'est même plus significatif).

— **Essai n° 9 de Manankazo.**

Planté en décembre 1969, cet essai est complémentaire du précédent. Il doit permettre de déterminer la profondeur optimale de l'apport au potet et les combinaisons possibles avec l'apport diffus (1/2 au potet et 1/2 dans la raie de sous-solage). Les mensurations réalisées en juin 1971, 72 et 73 ne montrent pour le moment aucune différence entre les traitements ce qui confirme les résultats précédents.

— **Essai n° 6 du Mangoro.**

Le chantier de reboisement ayant fait l'acquisition d'épandeurs-localisateurs d'engrais, il a paru intéressant, dès janvier 1970, de tester ces appareils concurremment avec l'épandage manuel au potet et même, comme dans l'essai précédent, de combiner les 2 méthodes. Cependant, cet essai, installé dans un bon terrain (comme à Bcsakay) ne présente qu'un faible effet global de la fertilisation.

De ce fait, la comparaison des traitements reste difficile mais nous retrouvons, comme à Manankazo, une action immédiate de l'apport au potet et plus lente de l'épandage dans la raie de sous-solage qui ne se détache du témoin qu'au bout de 3 ans. Notons encore que, dans cet essai, l'apport combiné (trou + raie) présente la meilleure croissance avec une hauteur de 4,60 m à 3 ans 1/2 ce qui est remarquable.

— **Essai n° 9 Mangoro.**

Cet essai, mis en place en janvier 1971 à la demande des Ingénieurs des Eaux et Forêts de l'opération, a pour but de faire le bilan des différentes modalités d'apport d'engrais, déjà utilisés ou utilisables pratiquement, sur le chantier de reboisement. Huit traitements ont été choisis, combinant des engrais plus ou moins complexes avec l'apport à la raie ou au potet. Après deux mensurations, seul l'effet global de la fertilisation apparaît encore, mais, parmi les traitements deux semblent vouloir se détacher qui combinent l'apport à la raie d'un PK 21.16 avec l'apport au potet d'une petite quantité d'engrais phosphaté soluble (effet « starter »).

*Essai n° 2, Vakinankaratra. Les parcelles apparaissent en teintes sombres.*

Photo Benoît de Coignac.





CCT plots du Vakinankaratra. A droite et à gauche, essai fertilis

## ESSAIS SUR LES DOSES D'APPORT DES ENGRAIS

En ce qui concerne les doses d'apport deux problèmes se sont posés très rapidement :

- d'une part, si les doses actuelles s'avèrent insuffisantes; y a-t-il un risque à les augmenter ?
- d'autre part, si les doses actuelles se montrent efficaces, peut-on les réduire sans diminuer d'autant leur action ?

### — Doses plus élevées.

L'étude de la toxicité des doses fortes de divers engrais a été testée sur *P. kesiya* dans l'essai n° 12 de Manankazo en 1969. Ainsi, le chlorure et le sulfate de potasse à 150 g/plant, le superphosphate triple à 200 g/plant, les engrais azotés à 12 g de N/plant, furent apportés au potet de plantation

(en présence d'une fumure complémentaire équilibrée) et aucune mortalité particulière n'apparut ce qui fût assez surprenant.

En ce qui concerne chlorure et sulfate de potasse une vérification fut réalisée à l'occasion d'autres essais et nous avons pu constater, tant à Manankazo qu'au Mangoro, que ces risques de toxicité n'apparaissent pas dans les conditions de sols et de climat (saison des pluies) des Plateaux Malgaches.

Notons tout de même que des signes de toxicité sont cependant apparus, soit dans le cas d'épandage superficiel d'azote sous forme d'urée (Essai n° 5 de Manankazo), soit dans le cas de plantation à contre saison car alors la sécheresse occasionne des concentrations trop fortes, dans le potet (Essai n° 8 du Mangoro).



entre et à l'extrême droite plantation non fertilisée du même âge.

Photo Benoit de Coignac.

#### — Doses décroissantes.

L'effet de la fertilisation étant acquis, la détermination des doses économiquement rentables revêt une importance énorme à l'échelle d'un grand reboisement.

L'essai n° 17 du Mangoro planté en *P. kesiya* en décembre 1971 se propose donc d'étudier l'action d'un apport d'engrais jusqu'à 3 fois plus faible que la dose habituelle, celle-ci étant constituée de 200 g/plant de PK 21.16 avec ou sans un apport supplémentaire de phosphate bicalcique (60 g/p.). En plus d'un témoin sans engrais, on a ajouté dans cet essai deux traitements constitués de plants n'ayant reçu qu'une légère fertilisation en pépinière dans la terre de repiquage (type Zambie et Malawi (1)). En 1973, seul l'effet global

de l'apport d'engrais apparaît nettement (+ 65 % en moyenne) mais les différences entre doses et formes sont encore très faibles ou nulles (2). Les prochaines mensurations nous permettront sans doute de tirer des conclusions plus précises.

L'essai n° 2 de Mandialaza, planté avec *P. kesiya* en février 1973, reprend le même problème avec 2 types d'engrais du commerce (PK 21.16 et NPK 11.22.16) et 4 doses d'apports allant de 50 g à 200 g/plant. Une mensuration réalisée 5 mois après plantation ne montre pour le moment aucune différence nette bien qu'on aperçoive déjà un classement positif dans le sens des doses fortes. Ici encore les prochaines années devraient permettre de préciser ces tendances.

(1) Tube Zambie : mélange terre avec engrais NPK.

Tube Malawi : fertilisation NPK granulés apportée en pépinière huit jours avant plantation.

(2) Notons cependant un échec total des plants « Malawi » et par contre un détachement progressif des doses supérieures par rapport à la dose 1/3.

## CONCLUSION

Parmi les moyens dont nous disposons pour accroître la croissance des jeunes plants, la fertilisation de départ représente incontestablement la plus efficace sur les sols très carencés des Hauts Plateaux Malgaches. Les expérimentations dont nous venons de donner les premiers résultats nous montrent amplement que cet effet est à la fois très rapide et durable malgré la modicité des doses apportées (200 à 500 kg/ha environ). Cette fertilisation peut d'ailleurs modifier grandement, suivant les types de terrains, l'importance du travail du sol, ce qui peut avoir des conséquences économiques non négligeables.

De plus, l'étude des modalités pratiques d'apport des engrais, de leur localisation, des doses techniquement et économiquement utilisables permet déjà d'envisager des formules applicables à de grandes unités de reboisement.

Ainsi dès la campagne suivante, le chantier de Reboisement Industriel du Mangoro devait fertiliser la totalité de ses plantations, soit 3 à 5.000 ha pour 1973-74, ce qui représente certainement à l'heure actuelle une des plus belles applications de la fertilisation forestière.

## EXPÉRIMENTATIONS SUR LA FERTILISATION APRÈS PLANTATION

En matière de fertilisation de peuplements existants, il peut être intéressant d'apporter, un certain temps après la plantation, une dose plus

ou moins importante d'éléments minéraux pour augmenter la croissance, donc la production. Cet apport sera fonction de la fertilité naturelle de la

*Reboisement en P. kesiya au Mont Mangoro.*

Photo Benoit de Coignac.



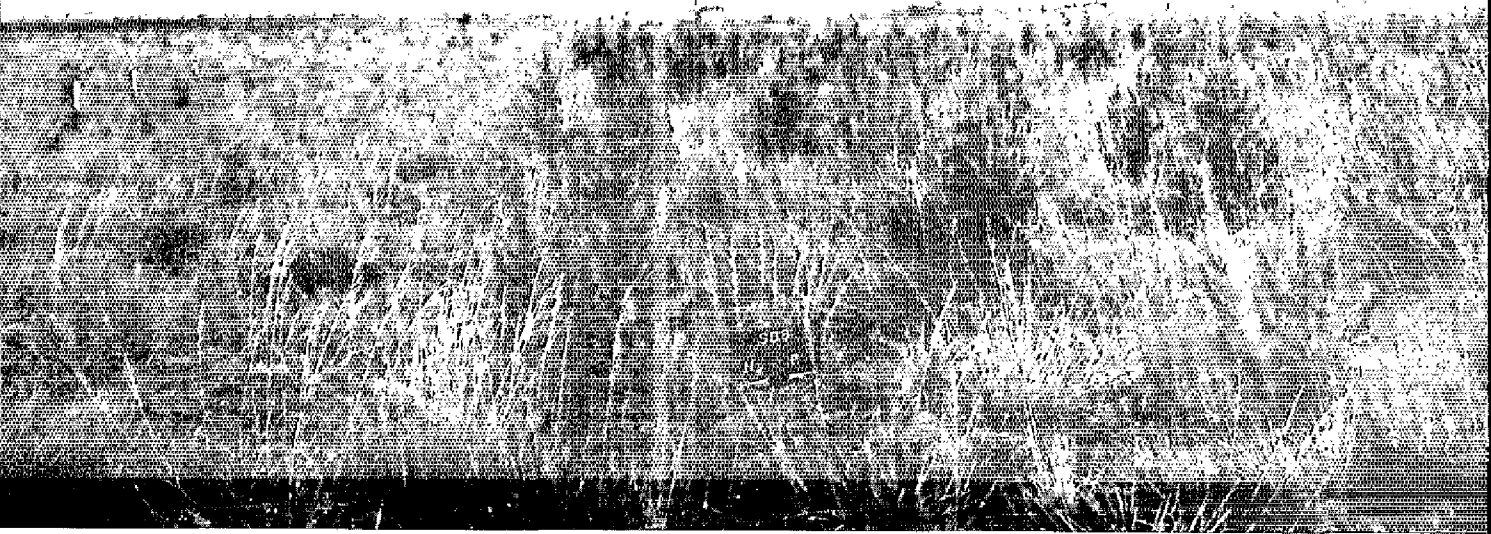


Photo de Vergnette.

Essai n° 5 de Manankazo. Comparaison des parcelles fertilisées.

station et en relation avec les besoins des peuplements adultes différents de ceux des jeunes plantations.

Par ailleurs, l'emploi de fertilisants peut être

envisagé pour « regonfler » des jeunes plantations n'ayant pas eu de fertilisation de départ et qui sont malvenantes.

### FERTILISATION DES JEUNES PLANTATIONS MALVENANTES

Certaines plantations de pins réalisées sur les Hauts Plateaux manifestent un retard de croissance accompagné de jaunissement très accentué en fin de saison sèche. Cela est particulièrement net sur quelques périmètres de reboisement en *Pinus patula* du sud (Matsiatra).

L'utilisation d'une fumure minérale pour améliorer la situation est une solution qui est venue à l'esprit. Des essais ont donc été installés sur le périmètre de Manankazo situé dans la région nord des Plateaux, puis sur le grand périmètre de reboisement de la Matsiatra au sud des Hauts Plateaux (Fianarantsoa). Les premiers ne sont que des tests permettant de mettre au point les modalités de l'expérimentation ; les seconds, des essais installés selon un dispositif statistique en vue de connaître plus précisément les effets des traitements sur la croissance des pins.

#### Tests n° 14 et 14 bis de Manankazo.

Ces tests ont pour but de nous permettre de répondre aux questions suivantes :

— un apport de fumure sur plantations de *P. patula* ou de *P. kesiya* âgés de 2 à 4 ans, a-t-il un effet bénéfique ?

— quelle est l'action de K et NK associés à l'apport de phosphore ?

Le test est réalisé sur des lignes réparties dans une plantation malvenante de *P. patula* et une plantation de *Pinus kesiya*, âgées de 4 ans au moment de l'installation de l'expérimentation.

Les traitements comparés sont les suivants :

O ; témoin (non sarclé),

OS ; témoin sarclé (de même que les traitements fertilisés),

- P : 50 g supertriple + 100 g hyperphosphate,
- PK : 50 g supertriple + 100 g hyperphosphate  
+ 50 g de sulfate de potasse,
- NPK : 40 g ammonitrate + 50 g supertriple  
+ 100 g hyperphosphate,  
+ 50 g sulfate de potasse,
- Complet : 150 g de NPK 11.22.16.

Cette série de traitements a été répétée mais avec une dose double : O — OS — 2P — 2PK — 2NPK — 2 (complet). Ces tests ont été implantés en janvier 1971 sur des plantations de janvier 1967 réalisées sur sous-solage-billonnage sans apport de fertilisants.

Des mensurations ont été effectuées en juillet 1971, juillet 1972 et juillet 1973. Les premières conclusions qui se dégagent sont les suivantes :

— le sarclage (réalisé sur un mètre de part et d'autre du plant sur le billon) a provoqué une légère diminution de croissance et augmenté l'hétérogénéité des plantations ; ceci est peut-être dû aux blessures des racines, très superficielles ici ;

— le traitement P (à une dose) ne provoque pratiquement pas de croissance, en fait, il annule seulement l'effet négatif du sarclage ;

— le traitement 2 P semble provoquer une augmentation de croissance assez sensible la deuxième année :  $\Delta h = 1,64$  m alors que pour le témoin :  $\Delta h = 1,26$  m et pour le témoin sarclé :  $\Delta h = 1,00$  m ;

— il y a un effet très net de PK, sans différence entre les traitements PK, NPK ou complet ; ils ont de 1,90 m à 2,10 m d'accroissement pour une dose et de 2,40 m à 2,60 m pour une dose double ;

— la fertilisation phospho-potassique à double dose a de beaucoup amélioré l'homogénéité des parcelles.

#### Essais n° 8 et 9 de la Matsiatra.

Ces essais sont beaucoup plus intéressants car ils ont été réalisés selon un dispositif statistique (à 3 répétitions) et les mêmes traitements ont été appliqués à des parcelles de 5 ans bien individualisées (et non plus à des lignes). Nous avons donc les dix traitements suivants : O — OS — P — PK — NPK — Complet — 2 P — 2 PK — 2 NPK — 2 Complet, qui ont été étudiés sur des peuplements qui avaient environ 3 ans (Essai 8 à Ambatovaky) et environ 5 ans (Essai 9 à Ambalakindresy) au moment de l'implantation de cette expérimentation en décembre 1971.

En décembre 1971, puis en août 1972 et mai 1973, les mensurations en hauteur de tous les arbres ont été effectuées.

Pour tenir compte de la variabilité de l'état initial des données (nous ne pouvions pas trouver 30 parcelles de 5 ares ayant exactement les mêmes caractéristiques de hauteur et de densité de plantation...) le protocole de l'étude statistique comporte d'abord une étude de covariance puis un calcul des moyennes compensées avant la réalisation de l'étude statistique proprement dite (comparaison des moyennes).

Les premiers résultats entr'aperçus à la suite des mensurations de 1972 (soit 6 mois après l'implantation de l'expérimentation) sont largement confirmés en 1973 et sont identiques pour les deux périmètres :

— les traitements sont très hautement significatifs dès 1972,

— le phosphore apporté seul, à une ou deux doses, n'a jusqu'à maintenant aucune action.

— Par contre, tous les autres traitements PK (P + K, N + P + K ou NPK complet) ont un effet très positif. Dès 1972, nous avons un léger effet dose puisque les trois traitements à deux doses se retrouvent en tête de classement. Cet effet qui, pour le moment, n'est pas significatif, sera très intéressant à suivre afin de connaître la différence de croissance et donc la rentabilité économique d'un apport double (3).

#### FERTILISATION DES PEUPELEMENTS EN COURS DE RÉVOLUTION

A l'heure actuelle, les expérimentations implantées par le C. T. F. T. ne portent que

(3) L'absence de traitement K ne nous permet pas de savoir s'il aurait eu un effet seul.

*Plantation industrielle de pins (P. kesiya) au Mangoro. Fertilisation phospho-potassique à la rate de sous-solage (PK 21-16, épandeur Revigor). Quatre lignes témoins n'ont pas reçu d'engrais lors du travail du sol.*





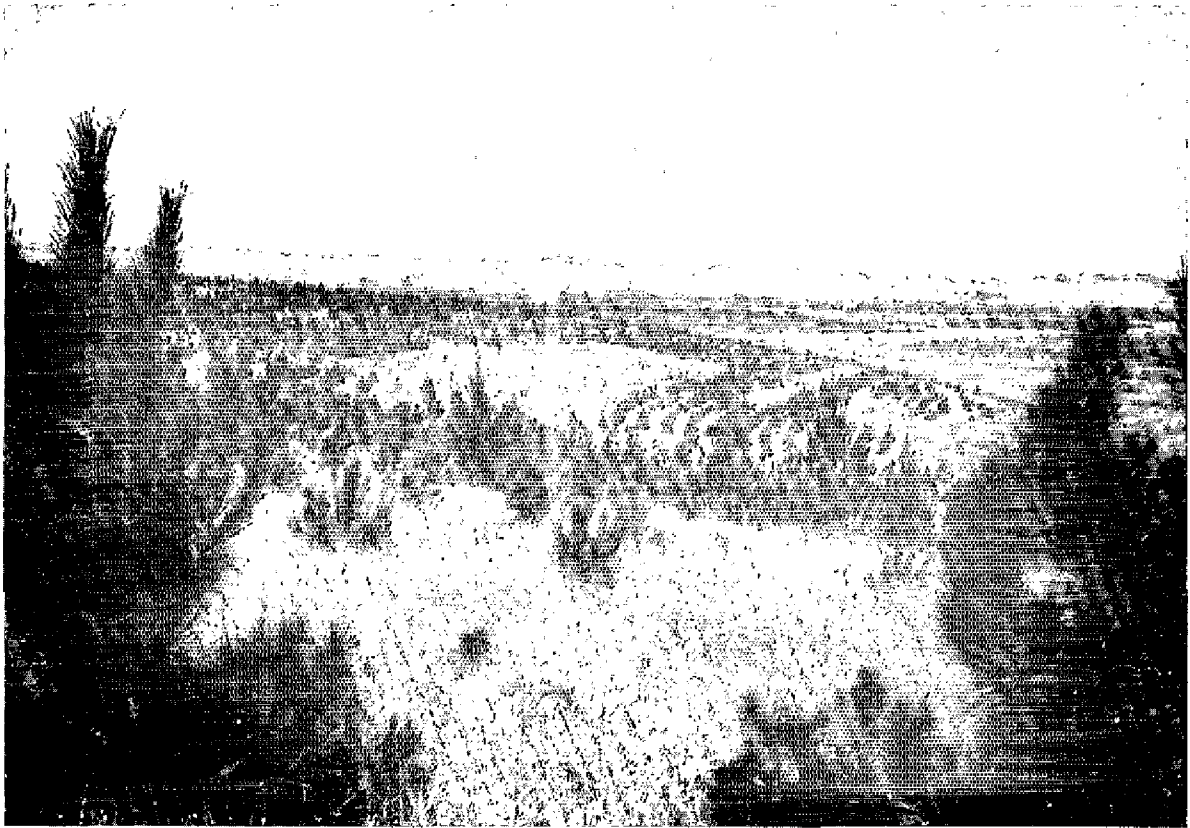


Photo Benoît de Coignac.

*Chantier du Mangoro. Fertilisation mécanique dans la raie de sous-solage (au centre, parcelle témoin).*

sur les peuplements malvenants de *Pinus patula*. Trois expérimentations ont été installées à la Matsiatra et à Manankazo.

#### Essai n° 7 à la Matsiatra.

C'est un test sur la fertilisation phosphorique de vieux peuplements à croissance très médiocre. Nous avons testé trois traitements : O témoin — P (750 kg/ha de phosphate d'os) — P Dol. (750 kg/ha de phosphate d'os + 1 t/ha de dolomie) — en un dispositif à 6 répétitions.

Quatre ans après l'implantation, les résultats ne sont pas significativement différents. Cette expérimentation semble donc confirmer les expérimentations précédentes, à savoir que si les plantations réagissent à une fertilisation phospho-potassique d'une façon nette, elles sont peu sensibles à une fertilisation uniquement phosphorique.

#### Essai n° 17 de Manankazo.

C'est un essai récent portant sur les apports

phosphoriques ou phospho-potassiques, installé en février 1972 dans une plantation de 9 ans.

Les traitements étudiés sont les suivants :

- O : témoin,
- P : (50 g supertriple + 100 g hyperphosphate par arbre),
- PK : (50 g supertriple + 100 g hyperphosphate + 50 g sulfate de potasse),
- NPK : (40 g ammonitrate + 50 g supertriple + 100 g hyperphosphate + 50 g sulfate de potasse),
- Complet : 150 g de NPK 11.22.16.

Ces cinq traitements ont été testés en un dispositif à 4 blocs complets avec des parcelles de 4 ares, dans une plantation réalisée sur sous-solage + billonnage.

Les résultats des mensurations de février 1972 puis de juillet 1972 et 73 sont donnés dans le Tableau n° 6.

TABLEAU N° 6. — ESSAI N° 17-MANANKAZO

Date	Traitements	O	P	PK	NPK	Complet
Fév. 72	Surface terrière initiale (m <sup>2</sup> )..... g0	0,529	0,609	0,544	0,559	0,456
Juil. 72 (5 mois)	Surface terrière (m <sup>2</sup> )..... g1	0,564	0,641	0,582	0,597	0,485
	Δg1 en % de g0 .....	6,6 %	5,2 %	7,0 %	6,8 %	6,1 %
Juil. 73 (1 an 1/2)	Surface terrière (m <sup>2</sup> )..... g2	0,685	0,781	0,748	0,767	0,625
	Δg2 en % de g0 .....	29,4 %	28,2 %	37,5 %	37,2 %	37,0 %

TABLEAU N° 7. — ESSAI N° 18-MANANKAZO

Date	Traitements	0	1d	2d	3d	4d
Fév. 72	Surface terrière initiale (m <sup>2</sup> )..... g0	0,558	0,535	0,520	0,499	0,613
Juil. 72 (5 mois)	Surface terrière (m <sup>2</sup> )..... g1	0,603	0,577	0,563	0,539	0,665
	Δg1 en % de g0 .....	8,0 %	7,8 %	8,2 %	8,0 %	8,4 %
Juil. 73 (1 an 1/2)	Surface terrière (m <sup>2</sup> )..... g2	0,725	0,750	0,742	0,723	0,891
	Δg2 en % de g0 .....	30,0 %	40,1 %	42,6 %	44,8 %	45,3 %

Il y a un léger effet PK mais pas d'effet P. Nous retrouvons les résultats des expérimentations précédentes.

#### Essai n° 18 de Manankazo.

C'est un essai datant de la même époque (fév. 72) installé dans la même plantation mais portant sur des doses croissantes d'une fertilisation phosphopotassique. Il a été différencié du précédent afin de ne pas alourdir celui-ci et de mieux maîtriser l'homogénéité des blocs en réduisant la taille de ceux-ci par des traitements peu nombreux.

Cet essai part donc de la dose 1 d'engrais complet

11.22.16 à savoir 150 g par plant et nous avons testé les doses 0 — 1 — 2 — 3 — 4 de cet engrais.

Ces cinq traitements ont été comparés en un dispositif à 4 blocs complets avec des parcelles de 4 ares dans une plantation de 9 ans.

Les résultats des mensurations de février 1972 puis de juillet 1972 et 73 sont donnés dans le tableau n° 7.

Un an et demi après la fertilisation, nous voyons apparaître un effet net de l'engrais et l'accroissement en surface terrière est d'autant plus élevé que l'apport d'engrais est plus important. Cette expérimentation sera très intéressante à suivre afin de déterminer la dose la plus rentable économiquement.

#### CONCLUSION

Ces quelques essais mis en place sur des peuplements de pins plus ou moins âgés nous ont montré tout d'abord que l'installation de ce type d'expérimentations était beaucoup moins aisée que celles mises en place avant plantation. Le choix des terrains, le parcellaire, l'épandage des engrais et le sarclage éventuel qui les précèdent, toutes ces opérations deviennent beaucoup plus difficiles.

Du point de vue des résultats, contrairement à ce qui se passe pour la fertilisation avant plantation, le phosphore apporté seul semble ne plus avoir aucun effet. Par contre, on observe un effet

positif de la fertilisation phospho-potassique qui, un an et demi après l'épandage commence à apparaître avec d'autant plus d'importance que la dose d'apport est plus forte.

La poursuite des mensurations sur ces essais et l'installation d'essais complémentaires pour préciser les doses et formes d'apport permettront de mieux cerner ce problème de la fertilisation des peuplements existants, problème particulièrement important dans certaines plantations malvenantes de la région des Hauts-Plateaux.

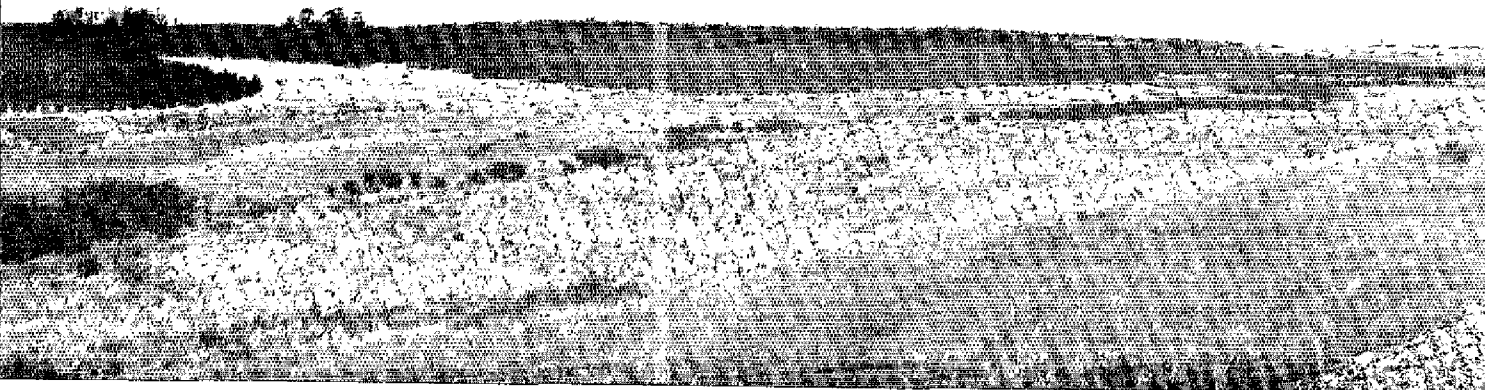


Photo Benoit de Coignac

*Chantier du Mangoro. Première plantation industrielle de P. kesiya fertilisée.*

## FERTILISATION DES PLANTATIONS INDUSTRIELLES

Les résultats acquis à partir des études et recherches de base en matière de fertilisation forestière trouvent leur application en particulier dans les Reboisements Industriels de la vallée du Mangoro (région du lac Alaotra).

Ces reboisements industriels ont débuté en 1969 et ont pour perspective la création de 90.000 ha de peuplement destiné à approvisionner une usine de pâte. Le programme annuel était de 1969 à 1971, de réaliser 4.000 ha par an ; depuis 1971, l'implantation d'un deuxième chantier a permis de porter ce programme à 5.000 ha, puis 6.000 ha en 1972-73. En 1973-74, le programme prévu était la réalisation de 2.000 ha à l'Ouest Mangoro et de 3.000 ha à l'Est Mangoro. Cette réduction de 1.000 ha sur l'ensemble du programme par rapport à la campagne 72-73 a été décidée pour pouvoir financer en totalité la fertilisation des plantations de l'Est Mangoro, car on commence à s'implanter dans une zone où le potentiel de fertilité du sol est vraiment très faible. Dans l'avenir, le programme annuel prévu est de 7.000 ha/an qui seront menés simultanément dans 3 zones, et avec l'utilisation systématique de la fertilisation. L'essence employée est essentiellement *Pinus kesiya*.

Lors de la première campagne 1969-70, 940 ha

de plantations ont été fertilisés à raison de 200 g d'hyperphosphate Reno, 50 g de sulfate de potasse et 50 g de dolomie, localisés dans le trou de plantation. L'apport s'est fait manuellement à raison de 200 trous par homme et par jour. La formule de fertilisant utilisée ne se trouvant pas dans le commerce, le mélange a dû être réalisé à la pelle sur le chantier même. Il en résulte que les produits utilisés ne sont pas homogènes. Par ailleurs, la forme pulvérulente de l'engrais rend son utilisation malaisée par des ouvriers non équipés.

Ces difficultés ont entraîné pour la campagne suivante (1970-71) des modifications dans la formule utilisée et dans le mode d'apport.

Les surfaces fertilisées n'étaient plus que de l'ordre de 460 ha. L'apport s'est fait alors sous forme diffuse mécanisée au moment de la préparation des sols. L'épandage de l'engrais utilisé (PK 21.16) est effectué dans les raies de sous-solage à la dose de 7,5 kg pour 100 mètres linéaires soit 200 g de fertilisant par plant (la densité de plantation étant de 1.370 plants à l'hectare) et à une profondeur de 20 à 25 cm. La répartition est plus homogène pour les granulés que pour les engrais en poudre.

En complément de cet apport mécanisé diffus

suivant rates de sous-solage, un apport manuel localisé au trou de plantation de 50 g de phosphate bicalcique granulé a été fait. Pour éviter la brûlure des plants, l'épandage est réalisé au minimum 15 jours avant la mise en place des plants. L'engrais est mélangé entièrement à la terre.

Dans le chantier de l'Ouest-Mangoro, un engrais ternaire NPK 11.22.16, sous forme granulée a été apporté manuellement et localisé au trou de plantation sur quelques 150 ha en 1971/72 et sur 300 ha en 1972/73.

La mécanisation de l'épandage a posé le problème d'entretien conséquent du matériel localisateur d'engrais attaqué par les produits chimiques. Par ailleurs, le rendement des travaux de sous-solage a diminué de beaucoup. Le réglage du débit des localisateurs est également très délicat et nécessite une surveillance constante. Et les engrais utilisés en quantité relativement élevée n'ont pas d'effets immédiats (effet starter) à cause de la localisation trop profonde des produits.

Ainsi sur la base des essais réalisés depuis 2 ans dans le chantier de l'Ouest-Mangoro, a-t-il été décidé lors de la campagne 1972/73 de revenir à l'apport manuel d'un engrais ternaire NPK (sous forme granulée) à raison de 150 g par trou de plantation ; l'épandage se fait au moins 1 mois avant la mise en place des plants ; l'engrais est mélangé à la terre ; l'emplacement du trou est repéré par un dégagement sur un rayon de 1 m à 1,50 m autour de ce trou.

Il était prévu pour la campagne 1973/74 l'utilisation de NPK 11.22.16 par apport manuel sur 3.000 ha de reboisement de l'Est Mangoro.

Cette extension de l'utilisation des engrais dans les plantations est motivée par l'accélération de la croissance juvénile des plants ; les jeunes plants échappent rapidement à la concurrence des herbacées. Pour les plantations fertilisées, il s'avère alors inutile de procéder aux travaux relativement onéreux de dégagement la première année de plantation et l'effet bénéfique peut se répercuter parfois sur la deuxième année.

Les essais effectués par ailleurs montrent que cette croissance juvénile se poursuit sur une dizaine d'années.

Les peuplements fertilisés sont plus réguliers et plus homogènes, ce qui évite le travail fastidieux et onéreux du remplacement des plants manquants après la 1<sup>re</sup> ou 2<sup>e</sup> année de mise en place.

L'on espère sur la base des résultats obtenus dans d'autres peuplements, une augmentation du volume de bois produit à l'hectare.

Quant à l'action de l'engrais sur la qualité papetière du bois, des études sont actuellement en cours.

Signalons au passage que lors de la campagne 1969-70, les semis ont été fertilisés (9 millions de semis environ). Il s'est avéré que l'azote ne semble pas avoir une action particulière. La réaction des semis paraît, par ailleurs, indépendante de la formule d'engrais utilisée : l'apport phospho-potassique améliore toujours la croissance et ne gêne nullement la mycorhization.

Mais, depuis la campagne 1970-71, la fertilisation des semis est abandonnée au profit de la technique actuellement adoptée du repiquage précoce : les semis sont faits sur substratum neutre (sable blanc), les graines vivent sur leur unique réserve, et les plants sont repiqués dès la tombée des gaines cotylédonnaires.

Par contre, il arrive souvent dans le cas où le repiquage se fait tard dans la saison d'incorporer de l'engrais dans les terres de repiquage pour accélérer la croissance de plants repiqués et permettre l'obtention de plants robustes au moment de leur mise en place. L'engrais utilisé est alors surtout à base de phosphore et de potassium.

Il serait utile d'évaluer la rentabilité exacte de la fertilisation des plantations de Pins dans la vallée du Mangoro.

Le prix à l'hectare de fertilisation NPK à 200 g par plant est de l'ordre de 10.000 FMG en 1972. Ce qui représente 20 % du coût à l'hectare du reboisement. Malheureusement, c'est dans quelques années seulement que le gain de croissance réel des plantations fertilisées sera connu. Mais dès maintenant, il s'avère intéressant d'éviter de dégager les plantations et d'avoir un peuplement homogène ne nécessitant pas le remplacement des manquants.

Sur le plan technique, une mise au point de la fertilisation s'avère toujours indispensable sur plusieurs plans :

— d'abord sur la formule à utiliser : l'emploi des chlorures mérite en particulier d'être étendu, compte tenu de la différence de prix entre le sulfate et le chlorure.

Il faudra également préconiser une forme d'engrais maniable pour des ouvriers non spécialisés et qui se prêterait toutefois à une mécanisation partielle.

— la mécanisation de la mise en place des engrais est à mettre au point, l'étude des gains de production possibles est à poursuivre...

Il n'en reste pas moins que les essais effectués depuis quelques 10 ans à Madagascar permettent des espoirs solides pour l'obtention d'une rentabilité positive dans l'utilisation extensive de fertilisants dans les reboisements industriels.