

Photo Hueber.

*Périmètre de Lakara (Haute Matsialra).*

# FERTILISATION MINÉRALE DES PLANTATIONS DE PINUS PATULA SUR LES HAUTS-PLATEAUX MALGACHES

par MM. de VERGNETTE, BAILLY, BENOIT de COIGNAC  
MALVOS et HUEBER,

*Division Sol et Forêt — C. T. F. T. - Madagascar.*

## SUMMARY

### MINERAL FERTILIZATION OF PINUS PATULA ON THE HIGH PLATEAUX OF MADAGASCAR

*Pinus patula is widely used for reforestation in Madagascar, and trials have been carried out to determine the effect of N, P and K fertilizers applied at the time of planting.*

*Pedological analyses have been made, and deficiencies sought, on the areas destined for these trials. The soil working comprises subsoiling and ridging.*

*The trial consisted of comparing eight treatments combining the elements N, P and K, as follows : N, NK, NP, NPK, K, PK, P and pilot T.*

*A year and a half after plantation, the results observed were as follows. The N and NK treatments led to a high percentage of mortality. N has an inhibiting effect on growth in height, but loses this property in the presence of P and becomes slightly*

positive in the presence of P and K. P has a constant positive effect, and K has a positive effect, but which does not on its own offset the inhibiting effect of N. The effect of N, P and K all together is markedly positive. From the point of view of heterogeneity of the plantation, N increases variations, K seems to have no significant effect, and P has a very beneficial effect, rendering K positive and almost entirely cancelling out the negative effect of K.

These trials were completed by foliary analyses.

## RESUMEN

### FERTILIZACIÓN MINERAL DE LAS PLANTACIONES DE PINUS PATULA EN LAS ALTAS MESETAS DE MADAGASCAR

En las repoblaciones forestales de Madagascar se utiliza ampliamente el *Pinus patula* y ya se ha procedido a ensayos con objeto de definir el efecto de los fertilizantes N, P y K aportados en el momento de la plantación.

Se han efectuado análisis pedológicos e investigaciones de carencia en los terrenos destinados a los ensayos. El trabajo del suelo ha consistido en la pasada del arado subsolador y un aporcado.

El ensayo ha consistido en comparar ocho tratamientos en que entran en combinación los elementos N, P y K. Estos tratamientos han sido los siguientes : N, NK, NP, NPK, K, PK, P y el testigo T.

Un año después de haberse efectuado la plantación, los resultados comprobados han sido los siguientes : los tratamientos N y NK han acarreado un fuerte porcentaje de mortalidad. Desde el punto de vista del crecimiento en altura, N tiene un efecto depresivo, pero pierde su nocividad en presencia de P y llega a ser ligeramente positivo en presencia de P y K. P tiene un efecto positivo constante, y K un efecto positivo también, pero que no compensa por sí solo el efecto depresivo de K. La aportación de los tres elementos N P K resulta muy positiva. Desde el punto de vista de la heterogeneidad de la replantación, N aumenta las variaciones, K no parece tener un efecto significativo, P tiene un efecto muy benéfico haciendo posible la acción de K y anulando casi por completo la acción negativa de K.

Estos resultados han quedado completado por análisis foliares.

Les premières introductions de résineux exotiques à Madagascar remontent à 1914. Depuis lors, les essais en arboretum ont été largement développés et un effort particulier a été fait sur les Pins.

Au vu des premiers résultats d'introduction qui ont été plus ou moins couronnés de succès, le Service Forestier a réalisé un certain nombre de reboisements en Pins spécialement sur les Hauts-Plateaux.

En particulier dès 1953, les travaux de reforestation ont pris une grande ampleur devant les succès obtenus en station avec le *Pinus patula*.

Le périmètre de la Haute Matsiatra, ouvert à cette époque, compte maintenant près de 20.000 ha reboisés, et sur la totalité des Hauts-Plateaux, les superficies enrésinées portent sur plusieurs dizaines de milliers d'hectares (1).

Cet effort s'intensifie et les projets de reboisement économique en Pins pour la production de pâte prennent corps : dans la dépression du Mangoro

(1) Les Plantations de Pins à Madagascar et au Cameroun. Publication C. T. F. T. 1966.

Périmètre de Lakara (Haute Matsiatra).

Photo Hueber.



(région de Moramanga) un chantier de reboisement de 60.000 ha vient de démarrer ; dans le Vakinkaratra, un autre périmètre de 60.000 ha devrait également être créé dans les prochaines années.

C'est pourquoi, depuis quelque temps déjà, le Centre Technique Forestier Tropical de Madagascar s'est efforcé d'étudier les problèmes de

reboisement en Pins, et, pour cela, a mis en place dans la Station Forestière de Manankazo à 125 km au Nord de Tananarive, un certain nombre d'essais portant sur les techniques de reboisement en *Pinus patula*. C'est ainsi qu'un essai de fertilisation minérale N. P. K. a été implanté en décembre 1966.

## 1. -- GÉNÉRALITÉS.

Cet essai a pour but de définir l'effet des éléments fertilisants N, P et K apportés lors de la plantation sur *Pinus patula*.

Il a été réalisé sur un seul mode de travail du sol, le sous-solage-billonnage dont des essais antérieurs ont démontré la supériorité dans cette station.

L'essai a été mis en place en décembre 1966 et pour sa réalisation, le C. T. F. T. a été aidé tout particulièrement par la Direction des Eaux et Forêts (Service Provincial de Tananarive) en ce qui concerne la préparation du terrain et la fourniture des plants, ainsi que par la Société des Engrais et Produits Chimiques de Madagascar (Potasses d'Alsace) pour la fourniture des engrais.

L'emplacement de l'essai est un plateau à faible pente dans la série C de la Réserve Forestière de Manankazo (P. K. 125 de la R. N. 4, Tananarive-Majunga), sur le plateau du Tampoketsa d'Ankazobe. L'altitude est de l'ordre de 1.500 m.

Du point de vue climatique cette zone est largement soumise aux influences de l'Est par l'intermédiaire des alizés indiens, et à l'altitude.

La pluviosité moyenne annuelle (cf. diagramme p. 14) s'établit aux environs de 1.700 mm concentrée sur 5 mois (novembre à mars). Les mois de saison sèche, juin, juillet, août et septembre sont particu-

lièrement peu arrosés (moins de 15 mm/mois). La variation de la pluviosité annuelle est très importante d'une année à l'autre.

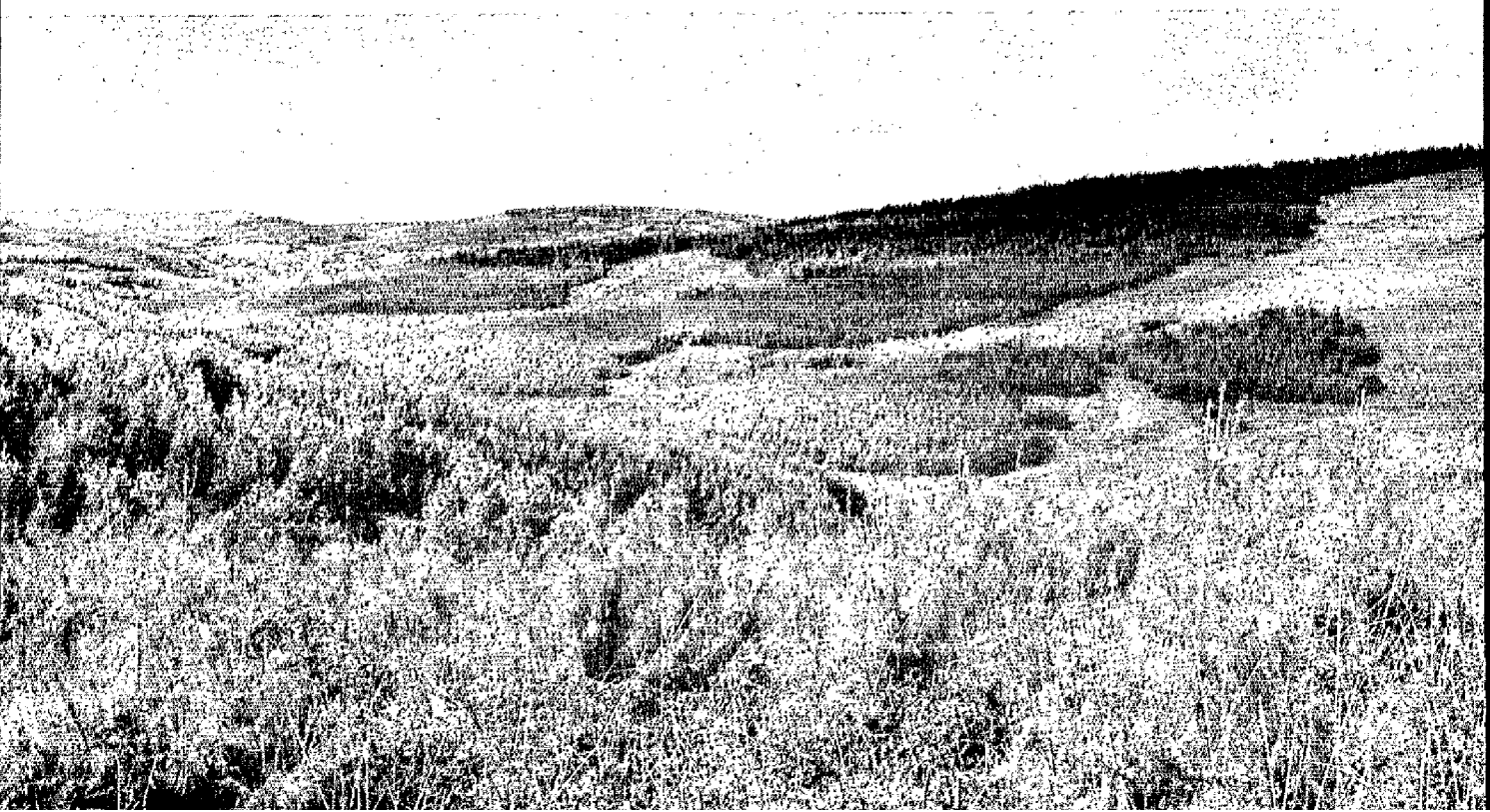
L'humidité relative demeure toujours assez élevée surtout la nuit et le matin. En saison sèche, l'ensoleillement et le vent qui dissipent les brouillards matinaux, font descendre ce taux à des chiffres assez bas, en septembre et octobre en particulier.

Les courbes des températures minimales et maximales font apparaître une saison fraîche bien nette ; la moyenne annuelle est de 17 °3, la moyenne des minima 11 °5, la moyenne des maxima 23 °2, le minimum absolu enregistré sur 11 ans est de + 1 °C.

Du point de vue géologique, le Tampoketsa d'Ankazobe repose sur une lame très épaisse de granite migmatique dans la série gneissique.

Un cuirassement ancien a sans doute existé mais il n'en reste que quelques vestiges sur des surfaces horizontales demeurées à l'écart du rajeunissement généralisé.

Du point de vue pédologique, les sols, rencontrés sous la steppe à graminées à base de *Loudelia*, sont des sols bruns jaunes ferrallitiques lessivés à pH bas, capacité d'échange faible, taux de matière organique variable mais souvent assez important.



# STATION DE MANANKAZO

## Observations Climatologiques.

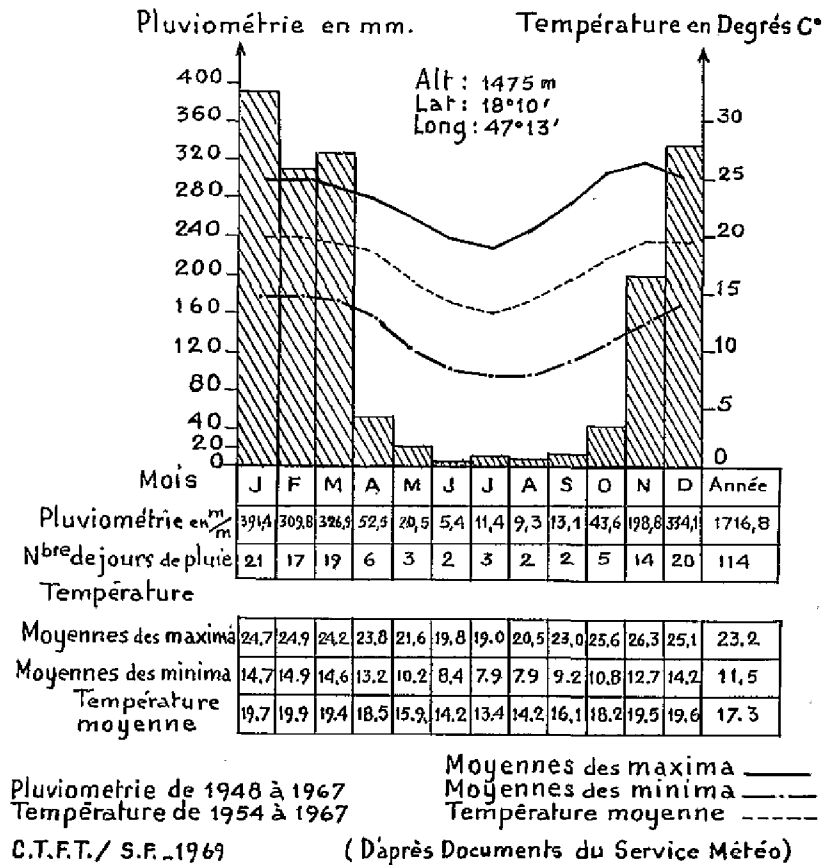


Fig. 1

Très fréquemment ces sols présentent, plus ou moins près de la surface, un niveau gravillonnaire dont l'épaisseur peut avoir une très grande importance pour les plantations forestières.

Une reconnaissance de détail du terrain où devait s'implanter l'essai a été réalisée en avril 1966 pour en soustraire, le cas échéant, les zones hétérogènes. Le résultat des analyses pédologiques est donné dans le tableau n° 1. On a, ainsi, éliminé une zone centrale (Echantillon n° 3) qui présentait une accumulation d'argile et des traces d'hydromorphie temporaire (voir fig. 3).

De plus, un essai de diagnostic de carences, par la méthode des vases de végétation, a été réalisé par le laboratoire de l'I. R. A. M. sur un échantillon des horizons de surface de l'essai ; les résultats sont donnés dans le tableau n° 2 (essai V. V. 113). Ils confirment les résultats des autres essais réalisés précédemment

\* I. R. A. M. : Institut de Recherche Agronomique de Madagascar.

TABLEAU N° 1. — Analyses des échantillons prélevés lors de la reconnaissance du terrain de l'essai

N° échantillon Profondeur pH	1	2	3	4	Interprétation (d'après Riquier) fortement acide
	0-20 5,1	0-20 5,0	0-20 5,0	0-20 5,0	
<b>Granulométrie</b>					
Sable grossier %	14,1	17,1	17,6	20,3	Limon argilo-sableux à argileux
Sable fin %	17,0	10,8	5,1	9,1	
Sable très fin %	18,7	12,8	7,1	14,1	
Limon %	22,0	24,0	23,5	23,0	
Argile %	10,5	19,0	32,5	17,0	
<b>Eléments organiques</b>					
Carbone %	8,1	7,4	6,3	7,6	Très riche Très riche Trop fort
Matière organique %	14,0	12,7	11,0	13,2	
Azote total %	3,40	3,28	2,56	3,36	
Rapport C/N	24	26	25	23	
<b>Complexe absorbant</b>					
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> } Lié CaO	0,006	0,007	0,009	0,011	Très pauvre
Assimilable % } Lié FeAl	0,157	0,186	0,186	0,200	
CaO ‰ m. e. %	0,049	0,029	0,039	0,039	Très pauvre
MgO ‰ m. e. %	0,008	0,008	0,012	0,008	
K <sub>2</sub> O ‰ m. e. %	0,046	0,052	0,039	0,036	Pauvre et très pauvre (0,05)
Na <sub>2</sub> O ‰ m. e. %	0,042	0,042	0,046	0,040	
Somme des bases échangeables S m. e. %	0,4	0,4	0,4	0,4	Très faible
Capacité totale d'échange T m. e. %	10,5	10,4	7,3	9,9	
Degré de saturation V = S/T %	4	4	5	4	Faible moyenne (10) Très faible
Sels solubles ‰	0,065	0,053	0,066	0,053	

dans la même région (V. V. 101), à savoir :

- carence grave en phosphore et en calcium,
- carence nette en potassium,
- carences secondaires en soufre et magnésium,
- pas de carence nette en oligo-éléments.

La végétation naturelle existant sur le plateau est constituée d'une maigre steppe à graminées à base de *Loudelia stipoides*, *Aristida multicaulis*, *Elionurus tristis*. Les feux parcourent traditionnellement ces étendues et jouent un grand rôle sur la dégradation de la couverture et de la structure.

Dans les thalwegs et surtout les têtes de vallées persistent des reliques forestières à caractère de forêt de l'Est qui semblent indiquer que la déforestation de ces régions est d'origine récente.

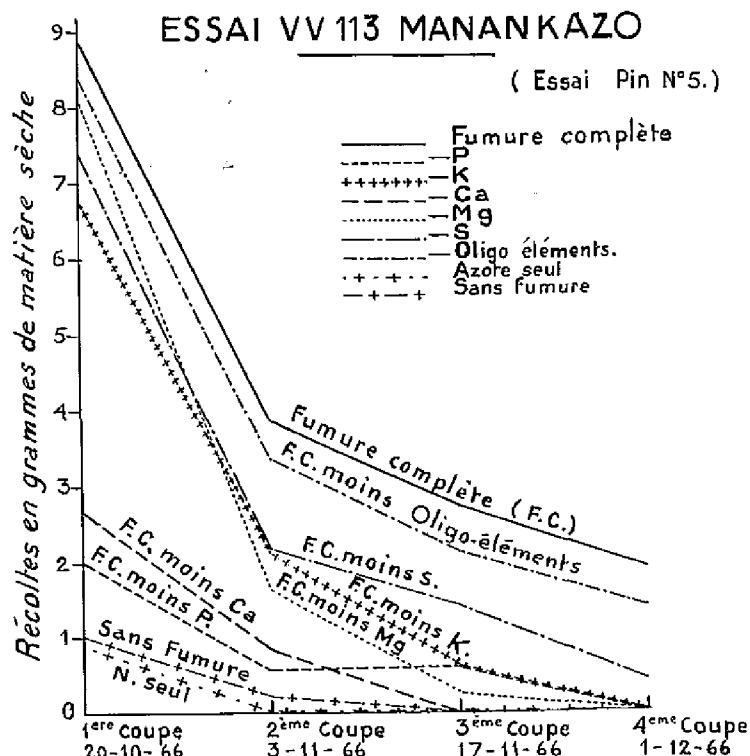


Fig. 2. — Essai en vases de végétation.

TABLEAU N° 2

Expérimentation en vases de végétation Manankazo — Sol ferrallitique sur gneiss

Résultats en % de la Fumure complète

Traitements	1 <sup>re</sup> récolte	2 <sup>e</sup> récolte	3 <sup>e</sup> récolte	4 <sup>e</sup> récolte	Total
Fumure complète .....	8,845 g	3,851 g	2,735 g	1,933 g	17,364 g
Sans fumure .....	11,5 %	6,1 %	0	0	7,2 %
Azote seul .....	9,9 %	0	0	0	5,1 %
F. C. moins P .....	22,1 %	14,9 %	24,6 %	0	21,2 %
F. C. moins K .....	76,1 %	54,5 %	28,2 %	0	54,7 %
F. C. moins Ca .....	30,2 %	21,5 %	0	0	20,1 %
F. C. moins Mg .....	91,4 %	42,3 %	10,2 %	0	57,5 %
F. C. moins S .....	83,2 %	55,8 %	52,0 %	22,2 %	65,5 %
F. C. moins O. e. ....	95,1 %	87,1 %	78,2 %	34,1 %	88,3 %

Nota : Chaque résultat est la moyenne de trois vases de végétation par traitement. Sur le graphique n° 2 ci-dessus, on trouvera le poids moyen de chaque récolte en gramme de matière sèche. Dans le tableau ci-dessus seul le poids moyen des récoltes de la Fumure complète est exprimé en grammes, les poids des autres traitements sont exprimés en % de la Fumure complète.

## 2. — MISE EN PLACE DE L'ESSAI — MODALITÉS.

### Doses d'engrais.

L'essai met en comparaison 8 traitements (factoriel 2<sup>n</sup>) qui diffèrent par la présence ou l'absence d'un ou plusieurs éléments : Azote (N) — Acide phosphorique (P) — Potasse (K). Chaque élément est apporté en une seule dose et une seule forme.

Les doses adoptées sont indiquées dans le tableau 3, p. 16 et données par plant.

Ces doses ont été choisies compte tenu des résultats tirés des premiers essais implantés depuis 1964 à Manankazo, et des renseignements obtenus auprès des spécialistes d'Europe.

— L'azote a été apporté en couverture par épandages fractionnés selon les indications données par la Division Pédologie et Fertilisation Forestière du Centre National de la Recherche Forestière,

TABLEAU N° 3

Traitement	Eléments fertilisants en g			Quantité d'engrais en g/plant			
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Perlurée	Super-triple	Phosphate naturel	Sulf. Potasse
T.....	0	0	0	0	0	0	0
N.....	9	0	0	10 + 10	0	0	0
P.....	0	52	0	0	50	100	0
K.....	0	0	24	0	0	0	50
NP.....	9	52	0	10 + 10	50	100	0
NK.....	9	0	24	10 + 10	0	0	50
PK.....	0	52	24	0	50	100	50
NPK.....	9	52	24	10 + 10	50	100	50

Nancy (C. N. R. F.), qui nous conseillait d'ailleurs d'utiliser la forme d'ammonitrate. Malheureusement cet engrais n'était pas, à l'époque, disponible à Madagascar, aussi, compte tenu des essais antérieurs, nous avons utilisé la forme Urée. L'apport fut réalisé par :

- + épandage de 10 g de Perlurée à 45 % 1 mois après la plantation,
- + épandage de 10 g de Perlurée au début de la saison des pluies suivante.

— L'apport de phosphore, à la dose de 52 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total par plant, a été défini au vu des résultats antérieurs et de la carence caractérisée de ces sols en phosphore. Ceci nous a amenés à prévoir l'apport d'un mélange de :

- + 100 g d'Hyperphosphate Reno (à 30 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> tricalcique) dont l'action est lente et qui joue un rôle non négligeable par l'apport de Calcium,
- + 50 g de Supertriple (à 44 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> soluble) qui permet de mettre rapidement du phosphore à la disposition du jeune plant.

— En ce qui concerne la potasse, nous avons réalisé l'apport, à raison de 24 g de K<sub>2</sub>O par plant, sous forme de sulfate pour éviter les risques (éventuels) de toxicité des chlorures au voisinage des racines.

Ces deux derniers apports se font par mélange des engrais et de la terre dans le trou de plantation quelque temps avant la mise en place des plants.

L'équilibre NPK (1-5-2,5) peut paraître très en faveur du phosphore (1) mais cela tient compte de la forte carence en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et de l'effet marquant de cet élément déjà mis en évidence antérieurement sur les pins.

#### Dispositif expérimental.

Le dispositif expérimental a été choisi de façon à

permettre une interprétation des résultats par la méthode statistique. Les principes sont ceux qui sont définis dans la note de normalisation réalisée par le groupe de travail sur la Fertilisation Forestière en Sylviculture de l'A. N. P. E. A. (2) et conseillés par le C. N. R. F. de Nancy.

Le dispositif adopté est le dispositif factoriel 2<sup>3</sup> en blocs incomplets avec « confounding » sur l'interaction NPK. En effet, vu la dimension des parcelles, les blocs, comportant les huit traitements, avaient, *a priori*, de grandes chances de présenter une hétérogénéité non négligeable ; aussi (comme le conseille l'A. N. P. E. A.) nous avons sacrifié l'interaction de 2<sup>e</sup> ordre NPK (très rarement significative et difficile à interpréter) ce qui permet de réduire la taille des blocs de moitié en utilisant la méthode des blocs incomplets avec « confounding ».

Nous avons ainsi deux types de blocs comportant chacun quatre traitements :

1 <sup>o</sup> type X .....	N - P - K - NPK
2 <sup>o</sup> type Y .....	O(T) - NP - NK - PK

Comme nous voulions avoir 5 répétitions cela donnait 5 blocs X et 5 blocs Y, soit au total 10 blocs avec 4 parcelles par bloc.

Les blocs X et Y ont été groupés deux à deux de manière à restreindre les risques d'hétérogénéité et les traitements ont été choisis suivant une « table des nombres casualisés ».

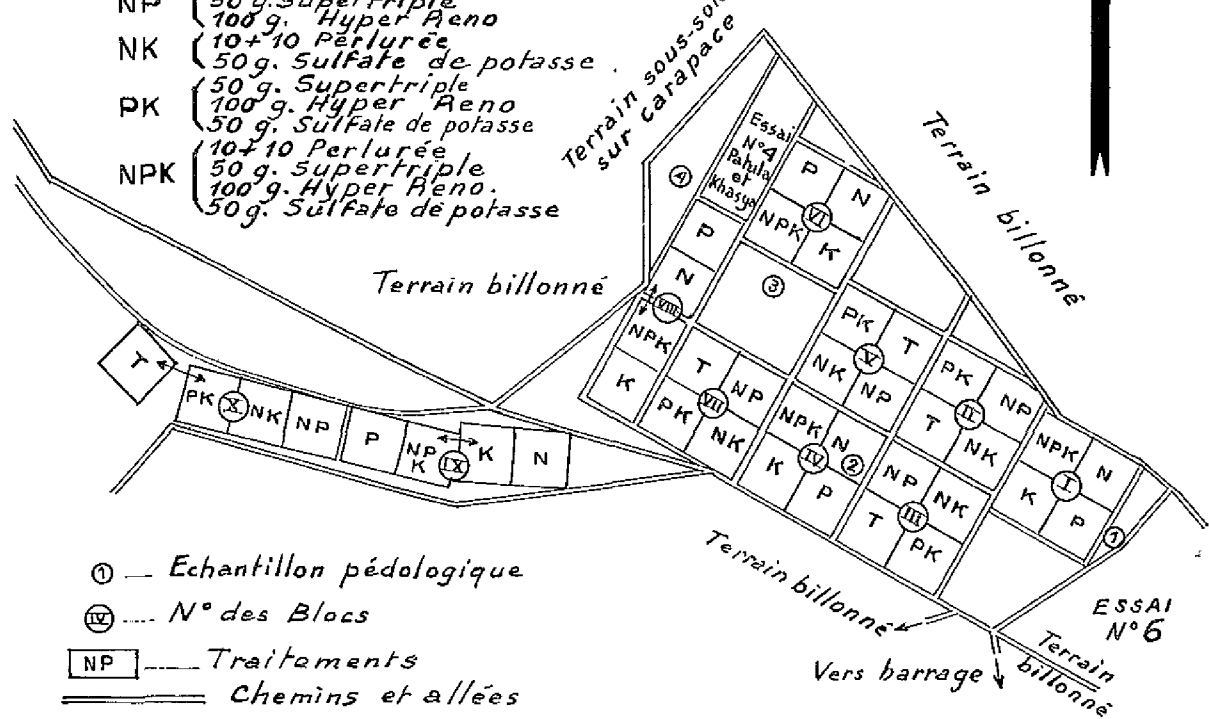
Comme nous envisagions de poursuivre l'essai jusqu'à exploitation du peuplement afin de déboucher si possible sur un calcul économique, les parcelles sont d'une taille supérieure à celle utilisée dans les essais antérieurs. Les dimensions sont celles employées généralement en Europe pour des essais

(1) Note de la Société des Potasses d'Alsace (M. Fricker).

(2) Association Nationale pour le Perfectionnement et le développement de l'emploi des Engrais et Amendements.

## Doses d'engrais

T	Sans engrais	N	10+10 Perlurée
K	50 g. Sulfate de potasse	P	50 g. Supertriple
NP	10+10 Perlurée 50 g. Supertriple		100 g. Hyper Aeno
NK	10+10 Perlurée 50 g. Sulfate de potasse		
PK	50 g. Supertriple 100 g. Hyper Aeno 50 g. Sulfate de potasse		
NPK	10+10 Perlurée 50 g. Supertriple 100 g. Hyper Aeno 50 g. Sulfate de potasse		



- ① — Echantillon pédologique
- Ⓧ — N° des Blocs
- NP — Traitements
- Chemins et allées

FIG. 3. - Manankazo. Essai n° V. Implantation des parcelles de fertilisation de *Pinus patula*.

semblables soit 50 m × 50 m (25 a). La surface utile de 10 a est ainsi protégée des effets de bordure par une bande d'isolement de 9 m tout autour et comporte 200 plants (plantation à 2.000 plants/ha).

L'ensemble des parcelles de l'essai couvre une superficie de 10 ha, mais avec les plantations d'environnement, la superficie plantée est au total de 13 ha environ.

### Travail du sol et réalisation pratique de l'essai. Calendrier.

La reconnaissance du terrain a été réalisée en mars 1966, et a permis d'implanter l'assiette du dispositif, dès mai 1966.

Le travail du sol a consisté en un sous-solage suivi d'un billonnage à l'aplomb de la raie de sous-solage.

Le sous-solage a été réalisé durant la saison sèche (juin 66) à l'aide d'un tracteur à chenille type D6 équipé de 2 corps sous-soleurs distants de 2 m. Le travail a été réalisé à environ 0,50 m de profondeur. Le billonnage a été fait ensuite à l'aide d'une charrue Huart réversible portée sur Ferguson 65. L'emprise du billon est d'environ 1 m, sa hauteur de 0,40 m à 0,50 m.

Les trous de plantation (0,25 m) ont été ouverts

sur les billons en octobre, et les apports d'engrais phosphatés et potassiques effectués en novembre. Ces apports ont été réalisés au fond du trou et mélangés avec la terre avant rebouchage. Pour éviter toute erreur, le travail a été réalisé parcelle par parcelle et un repère de bambou a été placé sur chaque trou. Les trous des parcelles T et N ont été ouverts et rebouchés de la même façon.

La plantation a été effectuée fin décembre 1966. Les plants, assez homogènes, provenaient de la pépinière du chantier des Eaux et Forêts de Manankazo. Ces plants avaient été élevés en boulettes d'argile selon la méthode traditionnellement utilisée à Madagascar (1).

Le remplacement de quelques plants morts a été effectué dès la fin janvier avec des plants de *Pinus patula* de même origine ; ce regarnissage n'a intéressé qu'un très petit nombre de plants.

Le premier épandage d'Azote a été fait le 9 février 1967 en surface autour du plant.

Le deuxième épandage a été réalisé de la même façon les 6 et 7 décembre 1967.

(1) Voir « Les Plantations de Pins à Madagascar et au Cameroun » déjà cité.

Les 15 janvier 1968, un comptage du nombre de plants morts a été réalisé, il est apparu relativement important dans les parcelles correspondant aux traitements N et NK.

Pour éviter de laisser des trous dans le peuplement, les plants manquants ont été alors remplacés par des

pins d'espèce différente (*Pinus khasya*) qui ne seront pas mesurés lors des comptages.

Les premières mensurations ont été faites en juillet-août 1968 selon les modalités indiquées au chapitre 4, ci-après ; à cette occasion un prélèvement d'aiguilles pour analyses foliaires a été effectué dans chaque traitement.

### 3. — RÉSULTATS CONCERNANT LA MORTALITÉ.

Les comptages de mortalité effectués en 2<sup>e</sup> année (janvier 68) sont reportés dans le tableau n° 4.

Chaque parcelle faisant 50 m × 50 m, nous avons environ 500 plants par parcelle soit 2.500 plants par traitement (5 répétitions), ce qui nous donne le tableau suivant du pourcentage de mortalité classé en ordre décroissant :

Traitements	N	NK	NP	NPK	K	PK	P	T
Nombre de plants morts..	400	267	32	21	17	11	8	8
Mortalité %...	16,0	10,6	1,3	0,8	0,7	0,4	0,3	0,3

Nous voyons donc que les traitements N et NK ont eu un fort pourcentage de mortalité (16,0 et 10,6), tous les autres présentent une mortalité négligeable (1 % et moins) du même ordre de grandeur que celle du témoin sans engrais T.

Ceci confirme les résultats déjà obtenus sur d'autres essais réalisés sur les Hauts-Plateaux et qui avaient montré que, dans certains cas, l'épandage d'azote sous forme de perlurée pouvait avoir un effet létal important qui doit nous rendre très prudents quant à l'emploi de cet engrais.

TABLEAU N° 4

Nombre de plants morts en janvier 1968

Blocs \ Trait.	N	P	K	NPK	NP	NK	PK	T	Total par Bloc
I.....	100	0	0	12					112
II.....					4	58	1	1	64
III.....					7	75	7	3	92
IV.....	126	1	8	0					135
V.....					8	36	3	0	47
VI.....	80	0	2	3					85
VII.....					9	46	0	4	59
VIII.....	45	4	2	2					53
IX.....	49	3	5	4					61
X.....					4	52	0	0	56
Total par traitement.	400	8	17	21	32	267	11	8	764

### 4. — MENSURATIONS.

Chaque parcelle de 50 m × 50 m a une surface utile de 10 a (environ 200 plants). Il y a cinq répétitions soit 1.000 plants par traitement et 8.000 plants pour l'ensemble de l'essai. Comme il était difficile (et superflu) de mesurer tous ces plants, nous nous sommes limités à une cinquantaine d'arbres (entre 50 et 60) par parcelle, en prenant tous les plants situés sur 4 ou 5 lignes tirées au hasard dans chaque

parcelle et repérées par des piquets pour les comptages ultérieurs.

Ainsi, comme l'indique l'A. N. P. E. A. dans ses « Directives pour l'implantation d'essais » nous avons mesuré un minimum de 250 plants par traitement (entre 260 et 300) et un minimum supérieur à 10 % du total des plants en expérience (25 % environ).



L'exploitation des résultats a été réalisée suivant la technique déjà utilisée pour nos essais antérieurs et qui est calquée sur celle employée par J. GUINAUDEAU et AL. (1) pour leurs essais de fertilisation de MIMIZAN. Cette technique consiste à calculer pour chaque parcelle à partir des mensurations individuelles :

— la hauteur moyenne des plants,

— l'hétérogénéité du peuplement estimée par son coefficient de variation (1).

Cette technique, qui n'est peut-être pas très orthodoxe du point de vue mathématique, a cependant l'avantage d'être simple et facile à appliquer par le praticien qui utilise déjà ces deux paramètres pour caractériser les jeunes peuplements.

## 5. — COMPARAISON DES HAUTEURS MOYENNES EN AOUT 1968.

Les hauteurs moyennes des plants de chaque parcelle ont été reportées dans le tableau n° 5. Les hauteurs moyennes correspondant à chaque type de traitement (5 répétitions) sont reprises ci-dessous et classées par ordre de grandeurs croissantes :

Traitement	N	NK	T	K	P	NP	PK	NPK
Hauteur Moy. (cm)...	25,2	34,7	55,1	65,1	94,3	97,6	105,5	120,9

Nous voyons apparaître 4 groupes au premier abord :

1<sup>er</sup> groupe : N et NK : 25,2 et 34,7 cm ;

2<sup>e</sup> groupe : T et K : 55,1 et 65,1 cm ;

3<sup>e</sup> groupe : P, NP, PK : 94,3, 97,6 et 105,5 cm ;

4<sup>e</sup> groupe : NPK : 120,9 cm, domine nettement.

L'analyse de variance effectuée sur les données brutes est résumée dans le tableau n° 6, p. 20.

Cette analyse de variance globale nous montre :

— tout d'abord, que l'effet total des traitements est très hautement significatif (T. H. S.),

— que par contre, la variation entre blocs est très faible et non significative (N. S.) ce qui nous rassure sur l'homogénéité du terrain sur lequel a été effectuée la plantation et sur celle des plants utilisés.

De plus, cela nous confirme que l'interaction NPK confondue avec les blocs X et Y n'est pas significative (2).

Nous pouvons voir également que les trois effets principaux N, P et K sont tous trois très hautement significatifs (T. H. S.).

(1) Essais de fertilisation minérale sur Pin maritime à Mimizan (Landes) par J. GUINAUDEAU, G. ILLY, J.-P. MAUGÉ, F. DUMAS. Annales E. N. E. F., Tome XX, Fascicule 1-1963.

(1) Coef. de variation : rapport de l'écart-type à la hauteur moyenne des plants de la parcelle (en %).

(2) Somme des carrés X-Y = 97,97, DL = 1, variance = 97,97, F = 1,99, t = 1,41, N. S.

TABLEAU N° 5  
Hauteurs moyennes en août 1968  
(en cm)

Blocs	Traitt								Total X	Total Y
	N	P	K	NPK	NP	NK	PK	T		
I .....	30,5	85,5	69,6	125,6					311,2	
II .....					87,5	31,6	107,8	51,7		278,6
III .....					102,0	36,2	98,0	64,5		300,7
IV .....	22,5	92,4	69,5	124,1					308,5	
V .....					91,9	40,0	112,3	52,5		296,7
VI .....	29,9	93,8	72,4	122,7					318,8	
VII .....					113,1	27,9	113,6	61,3		315,9
VIII .....	20,9	102,3	63,9	117,5					304,6	
IX .....	22,3	97,5	50,2	114,6					284,6	
X .....					93,9	37,7	96,0	45,6		273,2
Total ....	126,1	471,5	325,6	604,5	488,4	173,4	527,7	275,6	1.527,7	1.465,1
Moyenne .	25,2	94,3	65,1	120,9	97,6	34,7	105,5	55,1		



Essai V à Manankazo, traitements N et N P K.

Photo Malvos.

TABLEAU N° 6

Sources de variations	Somme des carrés	DL	Variance	Test F	$t = \sqrt{F}$	Prob. (1)	Sign.
Traitements Principaux	N .....	1	1.081,60	21,96	4,69	< 0,001	THS
	P .....	1	35.485,85	720,67	26,83	< 0,001	THS
	K .....	1	1.817,10	36,90	6,07	< 0,001	THS
Interactions	NP .....	1	3.908,53	79,37	8,91	< 0,001	THS
	NK .....	1	81,80	1,66	1,28	0,2-0,3	NS
	PK .....	1	140,62	2,85	1,68	0,1-0,2	NS
Total traitements	42.515,50	6	7.085,91	143,90	—	< 0,001	THS
Blocs	561,17	9	62,35	1,26	—	> 0,20	NS
Erreur	1.181,84	24	49,24				
Total	44.258,51	30					

$sm = 3,137$

— N a un effet dépressif assez marqué,  
 — P un effet positif très marqué,  
 — K un effet positif moyen,  
 — parmi les interactions, seule l'interaction NP est très hautement significative, les autres ne le sont pas.

— le classement des moyennes selon le test de DUNCAN (2) est le suivant :

Traitements	N	NK	T	K	P	NP	PK	NPK
Seuil 5 %..	•	•	•	•	•	•	•	•
Seuil 1 %..	•	•	•	•	•	•	•	•

(1) Probabilité pour que les différences observées soient dues au hasard. Quand cette probabilité est inférieure à 5 % (0,05) on admet que les différences sont significatives (S.) sinon elles ne le sont pas (N. S.).

(2) Ce test n'est applicable en toute rigueur que pour un dispositif en blocs complets. Nous l'appliquons cependant ici car il est assez parlant et de plus la différence entre blocs X et Y n'étant pas significative, on peut considérer que les blocs sont complets à 8 traitements.

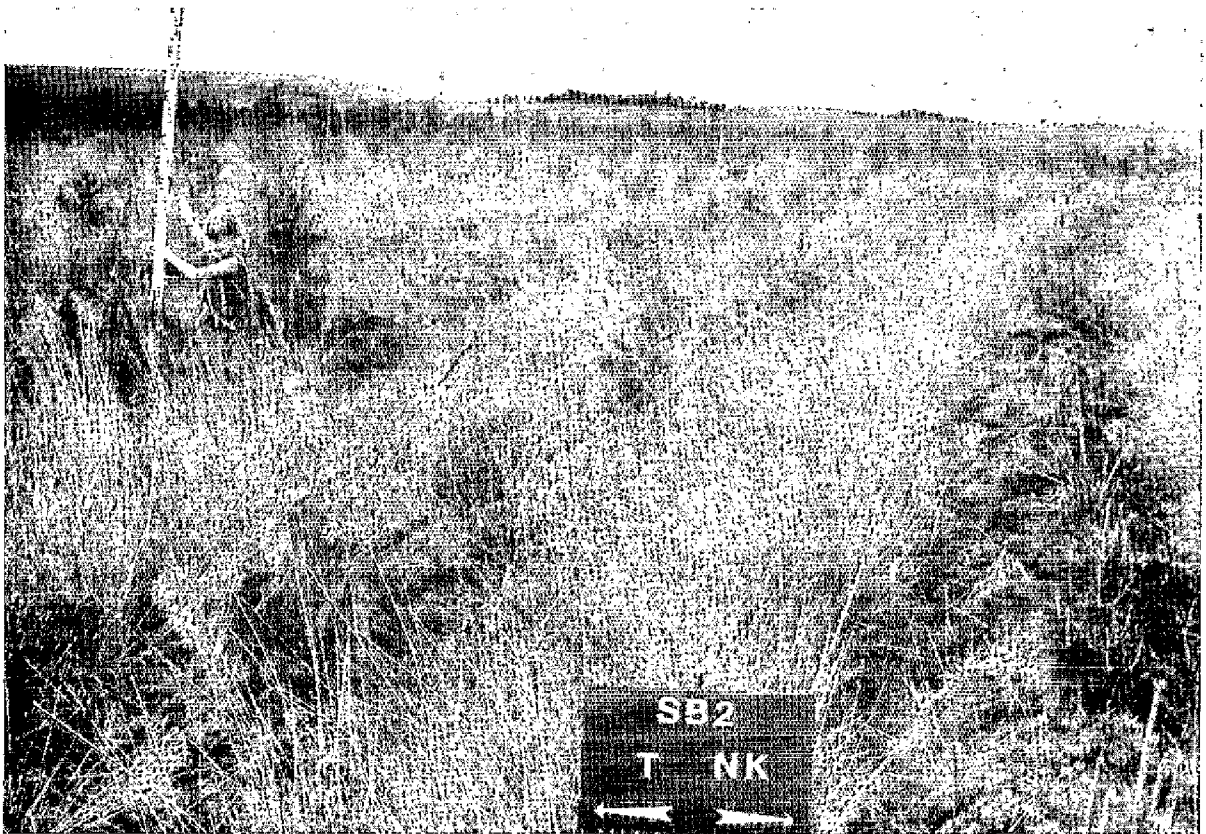


Photo Malvos.

Essai V à Manankazo, traitement N K et témoin.

En conclusion, on voit que :

— N a un effet dépressif marqué surtout en l'absence de P :

- Effet N global : — 13 %.
- Effet N sans P : — 50 %.

— P a un effet positif constant.

- Effet P global : + 130 %.
- Effet P seul : + 70 %.

— K a un effet positif non négligeable.

- Effet K global : + 20 %.

— l'apport de K en présence de P ou N seul est simplement additif, ainsi l'effet positif de K ne compense pas l'effet dépressif de N (interactions NK et PK non significatives) ;

— enfin, en présence de P, l'apport de N perd sa nocivité et devient même légèrement positif en présence de P et K (interactions NP très hautement significative).

L'apport des trois éléments combinés est donc très positif (NPK vs T = + 120 %) ce qui avait déjà été montré, mais de façon moins probante, par les résultats du test de l'Essai I (1964). La mortalité

importante, observée lors des apports d'Azote (sauf en présence de P, il faut le reconnaître) nous rendra cependant très prudents quant à l'opportunité d'apporter cet élément qui n'est malgré tout que faiblement positif dans le meilleur des cas (NPK vs PK = + 15 %).

#### 6. — EFFET DES TRAITEMENTS SUR L'HÉTÉROGÉNÉITÉ DU PEUPEMENT.

Il est intéressant de savoir si les apports d'engrais influent d'une manière ou d'une autre sur l'hétérogénéité du peuplement. Cette hétérogénéité peut être estimée par le calcul du coefficient de variation. C'est ce que nous avons fait pour chaque parcelle à partir des mesures individuelles et les résultats sont repris dans le tableau n° 7.

Le classement des moyennes des coefficients de variation par traitement est donné ci-après en % :

NK	N	T	K	NP	P	NPK	PK
57,9	52,3	45,0	41,3	24,6	24,3	21,2	19,6

TABLEAU 7

Coefficients de variation en août 1968  
(en %)

Blocs \ Trait	N	P	K	NPK	NP	NK	PK	T
I .....	45,5	29,8	45,8	18,4				
II .....					26,6	71,2	16,8	53,3
III .....					27,9	49,3	18,5	43,0
IV .....	45,1	25,7	36,6	23,2				
V .....					26,3	53,5	20,3	51,2
VI .....	61,8	22,0	44,3	20,1				
VII .....					18,6	61,4	21,1	39,7
VIII .....	49,2	21,8	38,6	22,3				
IX .....	63,0	23,7	41,7	22,8				
X .....					24,7	56,4	21,9	40,0
Moy logarith.	52,3	24,3	41,3	21,2	24,6	57,9	19,6	45,0

Tout de suite, on voit que l'apport de phosphore diminue de plus de moitié le coefficient de variation.

— Sans Phosphore : moyenne 49,1 %.

— Avec Phosphore : moyenne 22,4 % soit 27 points de moins.

L'analyse de variance réalisée après transformation logarithmique des données (1) est résumée dans le tableau ci-dessous :

TABLEAU 8

Sources de variations		F	t	Proba- bilité	Sign.
Effets	N ....	10,80	3,28	0,01-0,001	HS
	P ....	312,90	17,68	< 0,001	THS
	K ....	3,83	1,95	0,05-0,10	NS
Traitements	NP ....	5,10	2,25	0,02-0,05	S
	NK ....	2,08	1,44	0,10-0,20	NS
	PK ....	4,46	2,11	0,02-0,05	S
	Total traitements.....	56,52	—	< 0,001	THS
Blocs .....	0,52	—	> 0,20	NS	

Le test de DUNCAN appliqué à la comparaison des coefficients de variation (2) donne le tableau suivant :

Traitements	PK	NPK	P	NP	K	T	N	NK
Seuil 5 % ..	•	•	•	•	•	•	•	•
Seuil 1 % ..	•	•	•	•	•	•	•	•

(1) Transformation logarithmique destinée à égaliser les variances (Vérification par le test de BARLETT).

(2) Même remarque que pour la comparaison des Hauteurs.

De ces tableaux on tire donc que :

— La variabilité entre blocs est encore très faible, la différence n'est pas significative et l'interaction NPK ne l'est certainement pas non plus (1).

— L'effet total des traitements est très hautement significatif.

— L'azote augmente la variabilité de façon hautement significative (Effet N global : + 6 points).

Cet effet est toujours dans le même sens mais l'apport de phosphore l'annule presque totalement (interaction NP significative).

— Le phosphore a un effet global très hautement significatif (— 27 points).

— Par contre, le potassium ne paraît pas avoir un effet significatif sur la variabilité sauf quand il est apporté avec le Phosphore (interaction PK significative).

Ceci démontre encore l'effet très bénéfique de l'apport de phosphore qui a non seulement une action spécifique très positive (T vs P = — 21 points) mais, de plus, rend positive l'action faible ou nulle de la potasse (P vs PK = — 5 points) et annule presque totalement l'action négative de l'azote.

### 7. — ANALYSES FOLIAIRES.

Comme pour les autres essais, des prélèvements d'aiguilles pour analyse foliaire ont été effectués au moment des comptages. La technique de prélèvement est celle du C. N. R. F. ; les analyses ont été réalisées par le laboratoire de chimie végétale de l'I. R. A. M.

Les résultats en % de matière sèche sont reportés dans le tableau ci-dessous (2) :

TABLEAU 9

Traitement	T	N	P	K	NP	NK	PK	NPK
N %	2,06	2,58	1,84	2,14	2,02	2,10	1,96	1,92
P %	0,134	0,155	0,134	0,125	0,133	0,146	0,149	0,140
K %	0,287	0,312	0,393	0,412	0,287	0,412	0,437	0,437
Ca %	0,087	0,131	0,250	0,193	0,250	0,187	0,250	0,250
Mg %	0,156	0,187	0,312	0,250	0,250	0,218	0,312	0,406

On peut tirer de ce tableau les effets principaux des différents apports :

— L'apport de N augmente un peu la teneur en N (7 %) ainsi que la teneur en P, Ca et Mg, mais diminue la teneur en K (— 5 %).

— L'apport de P diminue fortement la teneur en N (— 13 %), augmente les teneurs en K (9 %), et

(1) Comparaison Blocs X · Y : F = 0,48, t = 0,69 — NS.

(2) Moyennes de 2 répétitions pour chaque traitement.

TABLEAU 10

Effets principaux (1)	N+	NO	P+	PO	K+	KO
N %	2,15	2,00	1,93	2,22	2,03	2,12
P %	0,144	0,135	0,140	0,140	0,140	0,140
K %	0,362	0,382	0,388	0,355	0,424	0,320
Ca %	0,204	0,195	0,250	0,150	0,220	0,180
Mg %	0,265	0,257	0,320	0,203	0,297	0,226

surtout en Ca et Mg (60 %), mais ne modifie pratiquement pas la teneur en P.

— L'apport de K diminue aussi très légèrement la teneur en N (- 4 %), augmente fortement les teneurs en K, Ca et Mg (20 à 30 %), mais ne modifie pas la teneur en P.

— Le rapport N/P est toujours largement supérieur à 10. Les seuils de carence avancés dans la note de mai 1966 semblent bien se confirmer (2) :

N : 1,40 à 1,60 %  
 P : 0,11 à 0,12 %  
 K : 0,30 à 0,40 %

} de la Matière sèche.

(1) N+ : Moyenne des traitements avec apport de N. de même pour P+ et K+

No : Moyenne des traitements sans apport de N. de même pour Po et Ko.

(2) Premières remarques sur quelques analyses foliaires réalisées sur *Pinus patula*. SOUCHIER, de VERGNETTE, BAILLY, mai 1966 (non publié).

Si l'on se place d'un point de vue pratique, nous voyons que les arbres qui poussent bien sont ceux auxquels on a apporté du phosphore bien que les teneurs en P des aiguilles dans tous les traitements soient très voisines. Ceci tend à démontrer que le phosphore est le facteur limitant absolu de la croissance des jeunes arbres. Ces derniers ne produisent de la matière sèche que dans la mesure où ils trouvent du phosphore dans le sol, mais la teneur en P de cette matière sèche reste pratiquement constante.

De plus, ces arbres bien venants se trouvent avoir une matière sèche riche en K même quand il n'y a pas eu d'apport de K comme dans le traitement P seul. La carence en K étant moins forte (voir analyse de carence du tableau n° 1) l'arbre arrive à trouver dans le sol ce dont il a besoin grâce au développement de son système racinaire. Quand ce développement est faible et qu'on n'apporte pas de K la carence apparaît dans les aiguilles (traitement T et N) (1).

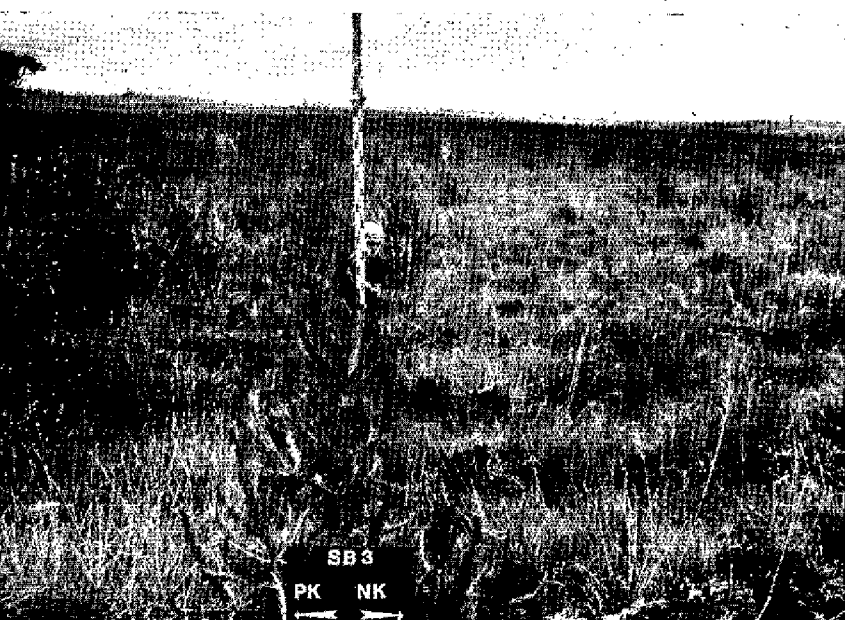
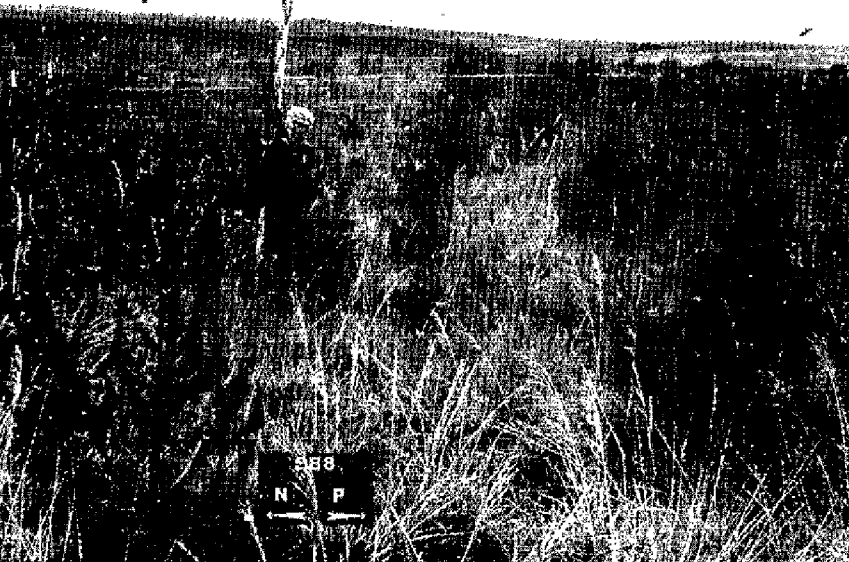
Enfin, l'apport de phosphore augmente fortement les teneurs en Ca et Mg des aiguilles. Cela est compréhensible pour le Calcium présent dans les engrais phosphatés mais pour le Magnésium, cela ne s'explique, comme pour la Potasse, que par une plus grande prospection du sol par les racines.

(1) Le traitement NP ne suit pas cette interprétation mais il s'agit peut-être d'un cas particulier. Les analyses ultérieures nous expliqueront peut-être ce cas qui semble un peu aberrant.

Essai V à Manankazo, traitements N K et N P.

Photo Malvos.





L'apport de K augmente très généralement la teneur en K des aiguilles mais sans que cette augmentation se traduise par une croissance accrue. Nous sommes là dans le cas où l'analyse foliaire apparemment normale peut correspondre à une nutrition très déficiente (traitement K et NK).

La teneur en N semble aller en sens inverse de la croissance des arbres mais reste toujours au-dessus du seuil de carence ordinairement admis (1,5 %). Là encore l'analyse foliaire ne donne pas une image nette de l'équilibre nutritif du jeune plant.

Les renseignements tirés des analyses foliaires montrent bien, comme nous l'avons déjà dit précédemment, qu'il convient d'être très prudent dans l'utilisation de ce diagnostic pour définir la fertilisation à appliquer. D'ailleurs, cela a déjà été indiqué par de nombreux auteurs. Ainsi une tendance à la conclusion hâtive et à la généralisation sommaire aurait pu amener à dire, au vu des premières analyses foliaires réalisées depuis 1964 sur *Pinus patula* à Madagascar que l'on avait dans le cas de ces Pins une carence en Potasse très nette et de là en déduire la fumure potassique appropriée, alors que la carence en phosphore très élevée n'apparaît pratiquement pas à l'analyse.

La seule manière de procéder pour arriver à des résultats valables est de mettre en place des essais de fertilisation et de réaliser parallèlement des analyses foliaires et des analyses de sol (1). C'est d'ailleurs ce qu'indique LEVY dans son article sur l'utilisation pratique de l'analyse foliaire dans l'étude de la nutrition des essences forestières (2). Par la suite, au vu des résultats d'un réseau d'essais suffisamment serré, les analyses de feuilles et de sol pourront permettre, par référence, de prévoir la fertilisation optimale.

L'utilisation du diagnostic foliaire sans un support expérimental valable, ne donnera que des résultats de valeur très réduite sinon erronés.

## 8. — CONCLUSION — POURSUITE DE L'EXPÉRImentation.

Les essais antérieurs, entrepris depuis plusieurs années par le C. T. F. T., avaient déjà montré l'effet très important des apports d'engrais sur la croissance de *Pinus patula* dans le jeune âge. L'Essai n° 5 de Manankazo doit nous permettre de préciser l'effet de chacun des éléments et de leurs combinaisons.

Dès le premier comptage, soit 1 an  $\frac{1}{2}$

(1) Dans les sols très pauvres, l'analyse en vase de végétation (Méthode Chaminade) peut être d'un grand secours pour déterminer ces carences (voir Tableau n° 2).

(2) R. F. F. n° 4, avril 1968.

De haut en bas : Essai n° V. Différentes parcelles avec divers traitements de fertilisation à Manankazo.

Photos Malvos.

après la plantation, nous voyons déjà nettement que l'élément fondamental est le phosphore. Ceci confirme bien les remarques que l'on avait pu faire précédemment et en particulier que la carence majeure en phosphore dégagée par l'analyse en vase de végétation sur raygrass, semble bien être primordiale également pour les Pins.

Cet effet bénéfique du phosphore sur la croissance est encore amélioré par son effet positif tant sur la reprise que sur l'homogénéité du peuplement.

L'apport de potassium n'a qu'un effet relativement faible, tant sur la croissance que sur l'homogénéité du peuplement.

Par contre, l'apport des trois éléments dans une formule NPK a un effet très appréciable. Cette formule complète donne les meilleurs résultats. Nous le savions déjà pour l'avoir utilisée sur les essais antérieurs ; mais l'apport d'azote en épandage est toujours délicat et il semble préférable de s'en méfier un peu avant d'avoir trouvé une formule d'apport dont on aura prouvé l'innocuité.

Malheureusement cet essai ne permet pas de voir quelle est l'action du Calcium (apporté par les phosphates). Une modification du protocole eût permis de tester cet effet par addition de 2 traitements au Bloc X, mais elle ne nous a été suggérée qu'après implantation de l'essai sur le terrain (1) et n'a pas pu être réalisée.

Sur les essais mis en place en 1968 dans la zone du Mangoro, dans le cadre des opérations de reboisement entreprises par le Service des Eaux et Forêts, nous avons élaboré un protocole qui nous permettra de tester cet effet du Calcium ainsi que celui du Magnésium, seuls et en combinaison avec Phosphore et Potasse.

Naturellement, ces renseignements ne sont pas transposables partout, ils ne sont valables que pour les régions dont les conditions de sol et de climat sont similaires et ne s'appliquent qu'à de jeunes plantations.

Dans les années qui viennent, il sera nécessaire de poursuivre les mensurations sur l'Essai n° 5 pour essayer de préciser :

- combien de temps l'action des apports d'engrais va se faire sentir ;
- quel sera l'effet sur la croissance en volume.

Finalement, en fin de révolution, il sera sans doute possible de connaître l'effet de chaque fumure sur les qualités technologiques du bois et de calculer de façon précise la rentabilité économique de ces investissements.

(1) Note de M. BONNEAU de juin 1966, C. N. R. F., Nancy.

De haut en bas : Essai n° V. Différentes parcelles avec divers traitements de fertilisation à Manankazo.

Photos Malvos.

