



Photo Malvos.

Madagascar. Haut Mangoro — Vue générale du périmètre de reboisement.

RÔLE DU POTASSIUM ET DU PHOSPHORE SUR LA CROISSANCE DES REBOISEMENTS DE PINUS KESIYA À MADAGASCAR

par
Claude MALVOS*, Maurice BONNEAU**
Bernard SOUCHIER***

* C.T.F.T.

** I.N.R.A.-C.N.R.F. — Champenoux.

*** C.N.R.S. — Centre de Pédologie Biologique.

SUMMARY

THE ROLE OF POTASSIUM AND PHOSPHORUS IN THE GROWTH OF PINUS KESIYA REAFFORESTATIONS IN MADAGASCAR

More than 100,000 hectares have been planted with pine (Pinus patula and Pinus kesiya) in the central part of Madagascar. But by reason of the nature of the soils it was necessary to carry out important research on the fertilization which it was essential to provide. Fertilization after plantation was also studied, in order to achieve optimum production.

A study of the stationnal behaviour of Pinus kesiya under phosphate and potassium fertilization was made on the perimeter of the industrial reforestation of Haut mangoro, a zone representative of the first tier of the Eastern cliff of Madagascar.

The experimental area was observed for more than 10 years, and it was possible to differentiate responses in respect of the pedological, physical and physical-chemical characteristics of four types of representative stations of the perimeter.

This article enables the procedures of fertilization of Pinus kesiya to be specified, and gives an initial interpretation of the mechanisms of response.

RESUMEN

PAPEL DESEMPEÑADO POR EL POTASIO Y EL FOSFORO EN EL CRECIMIENTO DE LAS REPOBLACIONES DE PINUS KESIYA, EN MADAGASCAR

Se ha procedido a la repoblación de más de 100,000 ha de pinos (Pinus patula y Pinus kesiya), en la parte central de Madagascar. No obstante, debido al género de suelos, se ha tenido que proceder a importantes investigaciones acerca de la fertilización que era preciso aportar a los mismos. Del mismo modo, se ha estudiado una fertilización tras la plantación, y ello con objeto de obtener la producción óptima.

Se ha emprendido así un estudio del comportamiento estacional de Pinus kesiya respecto a la fertilización fosfatada y potásica, en el perímetro de repoblación forestal industrial del Alto Mangoro, zona representativa del primer nivel del acantilado oriental de Madagascar.

Se ha seguido durante diez años la red de experimentación, lo cual ha permitido establecer las diferencias puestas de manifiesto según las características edafológicas, físicas y fisicoquímicas de cuatro tipos de estaciones representativas del perímetro.

En el artículo que figura a continuación se precisan debidamente las modalidades de la fertilización de Pinus kesiya y se da una interpretación preliminar de los mecanismos de respuesta.

Parmi les essences à croissance rapide utilisées dans la Foresterie Tropicale, les Pins ont une place de choix.

Les travaux de reforestation utilisant cette essence sont très importants dans les pays d'Afrique et à Madagascar.

Dans ce dernier pays notamment, un programme très varié de plantations en *Pinus patula* et *Pinus kesiya* est en cours.*Ce sont en effet, plus de 100.000 ha qui ont été reboisés dans la zone centrale de l'Ile.

Très rapidement, les problèmes de fertilité des sols sont apparus et un effort de recherche considérable a été entrepris depuis près de 20 ans pour définir les modalités les plus adaptées et les plus économiques d'une fertilisation à la plantation. Cette fertilisation a été très largement répandue sur les grands chantiers.

Il en est de même de la fertilisation après plantation destinée à « rattraper » les plantations malvenantes et de permettre un gain de production.

Cet effort de recherche démarré sous l'impulsion du Centre Technique Forestier Tropical de Madagascar puis continué depuis 1974 par le Département des Recherches Forestières et Piscicoles du Centre National de la Recherche Appliquée au Développement Rural, a été exemplaire par la continuité et la portée de ses résultats.

Le document présenté aujourd'hui résume et complète la thèse de doctorat d'ingénieur récemment soutenue auprès de l'Université de Nancy par M. Malvos.

Il permet de préciser les modalités pratiques de la fertilisation de *Pinus kesiya*, il donne une première interprétation des mécanismes de réponse et pose un certain nombre de questions. Son intérêt est donc à la fois appliqué et fondamental.

Qu'il me soit permis de remercier ici le Centre National de la Recherche Appliquée au Développement Rural de la République Malgache et tout spécialement le Directeur et les chercheurs du Département des Recherches Forestières et Piscicoles au sein duquel et grâce auquel les expérimentations qui ont servi de base à ce travail ont été menées.

Louis HUGUET
Directeur Général

du Centre Technique Forestier Tropical

INTRODUCTION

Les reboisements en Pins, sur les Hauts Plateaux, à Madagascar, sont réalisés à l'échelle industrielle depuis 1953, date à laquelle a été lancé le chantier de reboisement de la Haute Matsiatra. Ce reboisement couvre actuellement 35.000 ha, principalement en *Pinus patula*. Depuis 1968, un autre grand reboisement industriel a vu le jour dans la dépression du Haut Mangoro. Les forestiers malgaches y reboisent, à l'heure actuelle, au rythme de 7.000 ha par an, principalement en *Pinus kesiya*. Plus de la moitié du périmètre de 120.000 ha est déjà plantée.

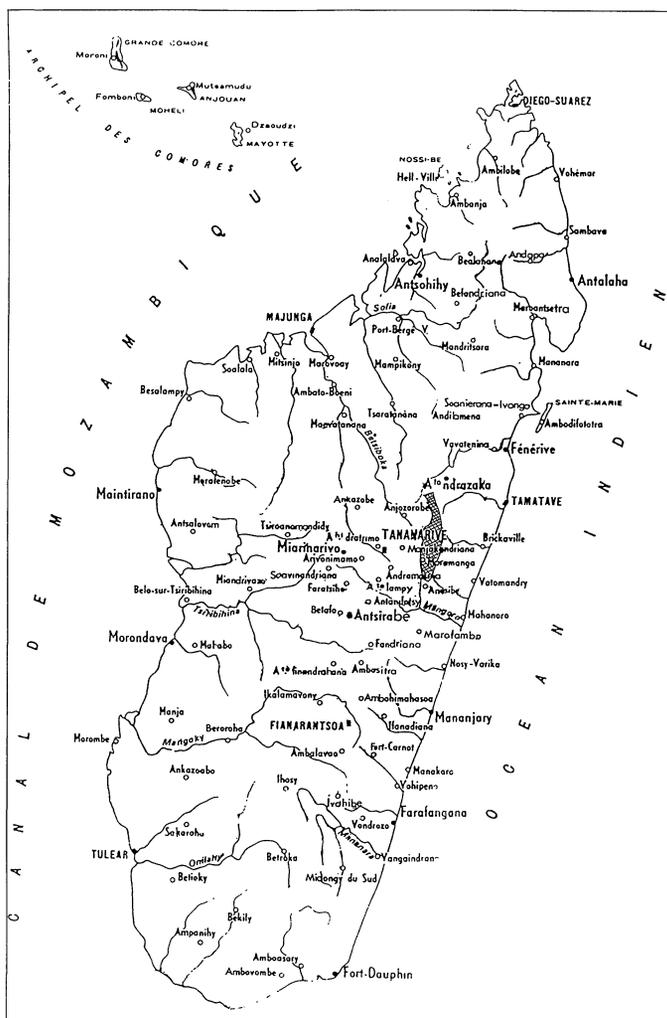
La Recherche en Collaboration étroite avec les Services Forestiers et les Responsables de ces Opérations de Reboisements Industriels a donc tout particulièrement étudié, amélioré les techniques de plantation, la fertilisation étant l'une de ces techniques.

Sous l'impulsion du Centre Technique Forestier Tropical, les premières études de fertilisation sur le *Pinus kesiya* ont commencé sur le périmètre du Mangoro en 1968 et les essais systématiques se sont étendus non seulement sur le *Pinus kesiya* mais sur d'autres espèces susceptibles de le remplacer (*Pinus oocarpa*, *caribaea*, *elliottii*).

Cet effort de recherche a été exemplaire par sa continuité et par la portée de ses résultats pour qu'il en soit rendu compte dans cet article, qui résume et complète la thèse de doctorat d'ingénieur récemment soutenue par l'un de nous (M. MALVOS 1980).

Fondé sur une étude stationnelle de sols types représentatifs de vastes étendues, de sols ferrallitiques désaturés communs à Madagascar et en Afrique Continentale sur roche granito-gneissique, ce travail avait des objectifs à la fois appliqués et fondamentaux :

- connaître les réponses différentielles à la fertilisation phosphatée et potassique du *Pinus kesiya* et donner un classement des stations reliant production et type de sol ;



En quadrillé, le périmètre de reboisement.

- comparer les effets des deux éléments *P* et *K* en cours de la croissance ;

- donner une première interprétation des mécanismes de réponse et des interactions en reliant l'effet des doses d'apport de fertilisant à l'immobilisation dans la biomasse et aux réserves estimées du sol.

CADRE GÉNÉRAL DE L'ÉTUDE ET STATIONS TYPES

SITUATION GÉOGRAPHIQUE ET MORPHOLOGIE

Le périmètre de Reboisement Industriel du Haut Mangoro est situé principalement dans la dépression du Mangoro du Sud de Moramanga au lac Alaotra. La zone étudiée ne constitue qu'une partie de ce périmètre et se trouve entièrement incluse dans la zone d'Analabe

- Ampangabe, dans la sous-préfecture de Moramanga, à cheval sur les cantons de Marovoay et d'Amboasary.

Du point de vue morphologique, il s'agit d'une zone de piedmont constituée de plateaux, de basses collines et de terrasses et disséquée par un réseau hydrographique

que finement ramifié. Les plateaux et collines ont une altitude moyenne de 960 m et sont découpés par des vallées étroites et nombreuses, aux rives abruptes. Des

terrasses sableuses occupent le niveau intermédiaire tandis que le dernier niveau correspond à des zones marécageuses inondables et non reboisables.

CLIMATOLOGIE

La région se rattache, du point de vue climatique, à la zone des hauts-plateaux (altitude supérieure à 700 m) à influence orientale ou climat tropical semi humide défini par Aubréville (1949) qui se caractérise par :

— une saison des pluies bien marquée, de Novembre

à Mars 1.500 mm en moyenne (variant de 900 à 1.900 mm), et une saison sèche hivernale, avec souvent des pluies fines ;

— la température moyenne variant entre 15 et 23° C, avec une ETP de 640 mm/an.

ROCHES — ALTÉRATIONS — SOLS ET VÉGÉTATIONS

Cette zone fait partie de la plaine du Mangoro, dépression tectonique, où se sont déposés des sédiments lacustres (pliocène) constitués d'argile kaolinique, de sable argileux et d'argile sableux. Les matériaux autochtones n'affleurent que rarement (migmatites schisteuses).

L'histoire géomorphologique et les phases anciennes d'altération et de transport confèrent à l'ensemble des sols des caractéristiques minéralogiques et géochimiques assez constantes, correspondant à l'évolution climax de la ferrallitisation gibbsitique associée, suivant les conditions topographiques et les remaniements locaux,

aux processus d'hydromorphie et plus rarement de podzolisation.

Les caractéristiques constantes des sols de collines dont la plupart se rattachent au groupe des sols ferrallitiques rajeunis, appauvris, fortement désaturés et fortement allitiques sont :

- appauvrissement en argile des horizons *A*,
- un pH acide (de 4,8 à 5,0),
- un taux de matière organique important en surface,
- une capacité d'échange (*T*) très faible qui diminue avec la profondeur des éléments échangeables (*S*) en faible quantité (surtout *K*).

Madagascar. Haut Mangoro — Destruction de la végétation naturelle.

Photo Malvos.



VÉGÉTATION NATURELLE

La végétation naturelle sur les plateaux, les collines et les terrasses, soumise au feu assez fréquemment, se compose de prairies et de broussailles.

Le tapis herbacé est surtout représenté par l'*Aristida multicaulis* qui forme un couvert assez dense quand il n'est pas brûlé depuis quelques années. L'*Imperata cylindrica* apparaît sur les endroits brûlés ou girobroyés à humus activé. Les fougères également existent par place (*Pteridium aquilinum*).

Les broussailles sont représentées par l'*Helichrysum sp* (Rambihazina), le *Philippia sp* (Anjavidy) le *Psiadia dodonaefolia* (Dingadingana), le *Xerochlamys pilosa* et le *Pteridium aquilinum*. L'*Helichrysum* se rencontre par place, associé au *Philippia* sur les plateaux ou les parties à faible pente. Mais, dès que l'on arrive sur les zones à forte pente où le terrain est dégradé, la formation de *Philippia* pure est de règle. Le *Xerochlamys pilosa* se rencontre sur les terrasses, dans les parties de sable blanc.

LES STATIONS ÉTUDIÉES

Quatre types de stations ont été retenus dans la présente étude et ont servi de base à l'expérimentation :

— les sols ferrallitiques de collines (dits « sols de

tanety ») où l'on a distingué 3 classes de fertilité basées sur la croissance des peuplements de *Pinus kesiya* ;

— les terrasses sableuses.

	Bonne tanety	Moyenne tanety	Mauvaise tanety	Terrasse
Situation	Sommet Pente faible	Sommet Pente faible	Pente forte	Terrasse
Matériau	Ferrallitisation des dépôts fluviolacustres anciens		Altération de migmatites érodées	Dépôts fluviaux plus récents
Végétation	<i>Aristida</i> <i>Pteridium aquilinum</i> <i>Hyparrhenia</i> <i>Imperata</i>	<i>Pteridium aquilinum</i> <i>Helichrysum</i> <i>Aristida</i> <i>Mimosa</i>	<i>Philippia</i>	<i>Aristida</i> <i>Pteridium aquilinum</i>
Croissance des pins	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Bonne
Réponse à la fertilisation	Bonne	Très bonne	Très bonne	Bonne

CARACTÉRISATION STATIONNELLE ET PHYSICOCHIMIQUE DES 4 TYPES DE STATIONS

Il ne s'agit pas de séquence de sols contrastés mais au contraire de juxtaposition d'unités typologiques assez peu différenciées entre elles.

Collines à profil développé sur matériau jaune, dominant, à traces d'érosion limitée, dans un paysage moyennement disséqué. C'est notamment la partie de bordure orientale du périmètre, de collines un peu surbaissées par rapport aux zones occidentales plus forte-

ment disséquées. Sur ces collines, les profils sont développés dans des dépôts fluviolacustres. Nous appellerons ces sols : « sols ferrallitiques sur alluvions anciennes ». Ils correspondent aux sols des « bonnes tanety ».

Zones à relief peu disséqué également constituées de matériau à dominance jaune brun, à faible profondeur, mais devenant plus argileux et induré, jaune sur rouge, en profondeur (horizon fragique). Nous appellerons ces sols : « sols ferrallitiques indurés ou à horizon fragi-

que ». Ils correspondent aux sols de « moyenne tanety ».

Collines érodées où affleurent les altérites du socle autochtone. Ces zones sont fréquemment enrichies en débris de cuirasse, à teinte plus généralement ocre-rouge, et surtout plus argileuses en moyenne que les précédents. Ce sont les « sols ferrallitiques sur migmatites » (typiques ou plus souvent remaniés). Ils correspondent aux sols de « mauvaise tanety ».

Zones planes formées sur des matériaux grossiers d'alluvions fluviales relativement récentes. Ces « sols ferrallitiques, hydromorphes des terrasses récentes » correspondent aux sols dits « Les terrasses sableuses ».

Pour caractériser ces différents sols, les horizons supérieurs A₁ et A₃ correspondant globalement au profil cultural serviront d'horizons de diagnostic physico-chimique et nous ne ferons qu'un très bref rappel du mode d'altération.

MODES D'ALTÉRATION COMPARÉS

Les nombreuses études générales et de cartographie régionale réalisées par les chercheurs de l'O.R.S.T.O.M. (RIQUIER, BOURGEAT, ZEBROWSKY...) montrent que les sols correspondent à des profils complexes de matériaux ferrallitiques remaniés riches en gibbsite. Nous résumerons la comparaison entre les différents sols par les teneurs en Fe total et secondairement en alumine totale, qui sont de bons indices à la fois lithologiques et d'altération des profils ferrallitiques (LELONG — 1967) et que nous rapprocherons du taux d'argile.

- Le taux de fer discrimine nettement, dans les 2 horizons supérieurs, les 4 profils types. Il s'agit essentiellement de goéthite cristalline ou cryptocristalline.

- Le taux d'alumine totale est plus difficile à interpréter puisqu'il résulte des pourcentages absolus et relatifs en kaolinite par rapport à l'alumine libre dont une partie se cristallise en gibbsite.

Très globalement, on peut dire que les horizons A₁ et

A₃ contiennent 8 à 12 % d'alumine libre, des bonnes tanety à couverture fluviolacustre la moins érodée aux terrasses sableuses d'apports récents. Seul, fait exceptionnel, le sol sur migmatite qui contient presque exclusivement de la kaolinite.

Le classement minéralogique, très globalement résumé, montrerait donc que les meilleures stations seraient celles dont le complexe d'altération serait à la fois le plus riche en fer et où la proportion optimale kaolinite/gibbsite serait de l'ordre de 3. Au contraire, l'excès d'argile, sans compensation de « l'effet gibbsite » caractérise les plus mauvaises stations. Enfin, les terrasses sableuses, dont nous verrons le comportement finalement plus favorable que les collines médiocres, compensent en quelque sorte leur grande pauvreté en fer par un pourcentage relatif élevé en gibbsite.

Le classement n'est sans doute pas sans relation avec l'effet des oxyhydroxydes de fer et d'aluminium sur la structure aérée et stable du sol ferrallitique (LELONG *et al.* 1977).

	HORIZON DE SURFACE				HORIZON PROFOND		
	Bonne tanety	Moyenne tanety	Mauvaise tanety	Terrasse	Bonne tanety	Moyenne tanety	Mauvaise tanety
Fe total ‰	102	78	58	22	117	91	67
Al total ‰	161	132	110	133	180	179	160
Argile ‰	25	16	33	7	29	17	43

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

Épaisseur des horizons.

L'horizon superficiel varie entre 15 et 37 cm d'épaisseur, l'horizon profond (A₃ ou B) de 75 à 100 cm. L'horizon superficiel organique étant relativement le

plus riche, les mauvaises tanety et les terrasses, avec un horizon superficiel de 15 cm, apparaissent d'emblée comme moins riches potentiellement que les autres sols qui ont de 25 à 37 cm d'épaisseur.

	Horizon superficiel				Horizon profond			
	Bonne tanety	Moyenne tanety	Mauvaise tanety	Terrasse	Bonne tanety	Moyenne tanety	Mauvaise tanety	Terrasse
Epaisseur	0-24	0-37	0-15	0-17	24-92	37-75	15-80	17-103
Porosité %	64,5	50,5	58,7	50,5	45,9	44,3	49,4	46,3
Etat structural Σ	2,22	1,83	2,20	2,14	1,73	1,44	1,80	1,91
<i>Texture :</i>								
Sables %	54	67	39	85	56	73	37	87
Limon %	22	12	23	7	16	8	17	8
Argile %	25	16	33	7	29	17	43	6

Texture.

La fraction d'argile inférieure à 2μ , constituée essentiellement de kaolinite, associée à environ 10 % de gibbsite, différencie très largement les sols des collines des terrasses sableuses, classés comme suit :

- horizon de surface : 25 — 15 — 35 et 7 %,
- horizon de profondeur : 20 — 20 — 40 et 6 %.

Ces variations texturales avec la profondeur, peuvent être résumées selon le tableau ci-après.

	Bonne tanety	Moyenne tanety	Mauvaise tanety	Terrasse
Horizon superficiel	L a s	Ls	L a	Ls
Horizon profond	L a s	Ls	A	Sl

Hormis les stations à sols plus compacts des mauvaises tanety, la texture ne paraît pas devoir être un obstacle à l'enracinement.

Porosité et état structural.

La notion de porosité revêt une grande importance pour le développement des racines. C'est elle qui conditionne l'aération du sol et sa perméabilité. Si on admet que, pour un bon sol, la porosité est de l'ordre de 50 à 70 %, et qu'à 40 % et au-dessous, on a affaire à un sol tassé, nous pouvons dire qu'ici, avec une porosité allant de 50 à 65 % en surface et de 45 à 50 % à 50 cm de profondeur, la porosité est bonne à très bonne en surface et reste bonne en profondeur. Les racines devraient donc pouvoir se développer normalement.

L'état structural du sol complète le diagnostic de la porosité. Il a été évalué d'après les tests d'instabilité

structurale (Is) et de perméabilité (K) de Hénin. Converties en log, les valeurs de ces indices sont ensuite regroupées en un coefficient global (Σ) qui caractérise cet état structural (Hénin, 1960).

Les caractéristiques structurales très bonnes en surface, permettent, en profondeur, un classement un peu plus relatif qui différencie les sols des moyennes tanety, à comportement moins favorable que les 3 autres.

Tous ces sols ont donc apparemment d'assez bonnes caractéristiques structurales.

Conclusions.

L'ensemble des données de l'analyse physique ne paraît pas fournir d'irréfutables explications immédiates aux qualités comparatives des sols, si ce n'est la terrasse récente qui est tout à fait à part : matériau sableux et homogène, en position plane.

Cependant, les différences entre les sols de collines méritent d'être approfondies, notamment en associant les observations morphologiques avec les données analytiques classiques. Les sols de mauvaise tanety (sol ferrallitique sur migmatite) ont une texture argileuse qui augmente encore avec la profondeur, et ce facteur peut contribuer à limiter le développement normal de l'enracinement gêné également par les débris cuirassés. Les deux autres types de stations de collines se développent sur matériau plus homogène d'origine fluviolacustre, moins argileux, au moins dans les 90 premiers centimètres. Enfin, le sol à comportement intermédiaire (sol de moyenne tanety) présente, vers 70 cm, un horizon induré qui a quelque parenté avec un fragipan.

Au total, comme nous l'avons montré précédemment, les caractéristiques minéralogiques et géochimiques globales (gibbsite, kaolinite, fer) rendent mieux compte que les tests classiques de textures et de stabilité, du comportement physique, sans doute en relation avec les microstructures et finalement le pédoclimat.

CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES COMPARÉES

Acidité et matière organique.

Le pH très acide, 4,5 en moyenne, ne discrimine absolument pas les stations entre elles, si ce n'est la ter-

rasse sableuse récente qui est nettement moins acidifiée (pH 5,5 en surface et 5,9 en profondeur).

	Horizon superficiel				Horizon profond			
	Bonne tanety	Moyenne tanety	Mauvaise tanety	Terrasse	Bonne tanety	Moyenne tanety	Mauvaise tanety	Terrasse
pH	4,4	4,5	4,4	5,5	4,4	4,7	5,0	5,9
Matière organ. %	4,14	2,76	5,35	3,76	1,10	1,12	0,82	1,12
C/N	13,4	11,7	14,2	17,5	12,8	13,0	13,3	20,3
Azote ‰	1,78	1,36	2,18	1,24	0,50	0,50	0,36	0,32
Acide phosphor. assimilable ‰ (Truog)	0,016	0,014	0,016	0,020	0,020	0,012	0,012	0,016
Ca ⁺⁺ échangeable m.e./100 g	1,02	0,78	0,12	0,09	0,03	0,15	0,06	0,03
Mg ⁺⁺ échangeable m.e./100 g	0,68	0,47	0,20	0,06	0,06	0,34	0,06	0,06
K ⁺ échangeable m.e./100 g	0,11	0,05	0,10	0,04	0,05	0,02	0,04	0,04
Na ⁺ échangeable m.e./100 g	0,01	0,01	0,03	0,10	0,01	0,01	0,18	0,02
S m.e./100 g	1,82	1,31	0,45	0,29	0,15	0,52	0,34	0,15
T m.e./100 g	12,5	6,0	6,8	1,4	1,8	2,0	1,8	0,4
V S/T ‰	14,5	21,8	6,6	20,7	3,3	26,0	18,9	37,5

La matière organique, de type mullacide des graminées, accumulée en grande partie dans l'horizon A₁, diffuse néanmoins quelque peu en A₃ ou B. Elle varie, avec les stations, de 2,76 à 5,35 % en surface et de 0,82 à 1,12 % en profondeur.

Dans cet horizon humifère de surface, support essentiel de la fertilité organominérale du sol, le rapport C/N est un indice important de l'activité biologique du milieu.

Avec un C/N assez faible et constant de 13 à 14 pour les trois sols de tanety, nous avons une vitesse de minéralisation relativement bonne : nous avons un cycle actif de l'azote. Par contre, pour la terrasse sableuse, nous avons C/N égal à 17,5 en surface et 20 en profondeur, la matière organique est moins favorable à la nutrition des plantes, surtout en profondeur.

Avec des valeurs en Azote total de 1,24 à 2,20 ‰ en surface, nous avons des teneurs assez bonnes, la norme donnée habituellement est de 1 à 1,5 ‰. Par contre, en profondeur, avec des valeurs variant de 0,50 à 0,32 ‰, nous avons des sols très pauvres.

Etude de l'acide phosphorique assimilable.

La bonne tanety et la terrasse, avec respectivement 0,016 ‰ et 0,020 ‰ de P₂ O₅ Truog en A₁ et 0,020 ‰ et 0,016 ‰ en (B) sont un peu mieux pourvues que les

moyenne et mauvaise tanety (0,014 ou 0,016 ‰ en A₁ et 0,012 ‰ en (B)), mais on peut dire que tous ces sols sont extrêmement pauvres en P₂ O₅.

Cette très faible assimilabilité du phosphore due au fait que les formes incluses et cristallines sont dominantes est d'ailleurs une caractéristique des sols ferrallitiques.

Par rapport à d'autres sols forestiers de Madagascar, les sols de ces périmètres sont très carencés en phosphore et ressemblent à ceux du tampoketsa de Manankazo, dont la pauvreté est bien connue.

Sur le plan absolu, la méthode TRUOG est une méthode douce qui donne toujours des résultats très faibles. Aux U.S.A. (Floride), on estime le seuil de fertilisation à 0,012 ‰. On serait donc légèrement au-dessus de ce seuil pour les deux types de stations : la bonne tanety et la terrasse sableuse.

Etude des bases échangeables (échange à l'acétate d'ammonium).

• Potassium échangeable : les valeurs sont particulièrement faibles pour K : de 0,11 à 0,04 m.e. pour 100 g en horizon de surface et de 0,05 à 0,02 m.e. pour 100 g en profondeur. Les deux stations les plus carencées sont les moyenne tanety et la terrasse, et peu de sols, à Madagascar, se sont révélés aussi pauvres, si ce n'est 3

Madagascar. Haut Mangoro
Intensité de l'érosion.

Photo Malvos.



Madagascar. Haut Mangoro
Autre aspect de l'intensité
de l'érosion avec création
de lavaka.

Photo Malvos.

périmètres Tsiacompaniry, Manankazo et Manjakatempo.

- Calcium et magnésium échangeables : pour le calcium, ce sont les terrasses et les mauvaises tanety qui apparaissent comme particulièrement carencées, pour le magnésium, ce sont encore les terrasses les plus carencées.

- la somme (S) des bases échangeables est très variable : de 1,82 à 0,29 pour les horizons superficiels, et de 0,52 à 0,15 pour les horizons profonds. Cette valeur chute

assez fortement de la bonne tanety à la moyenne, puis brutalement lorsqu'on passe à la mauvaise tanety et aux terrasses. Ces valeurs correspondent à des carences graves ($S < 2$) sauf pour la bonne tanety.

Ainsi S semble être le meilleur critère de fertilité.

- La capacité d'échange (T) de ces sols, est très généralement faible : 12,5 pour la bonne tanety, de l'ordre de 6 pour les deux autres tanety et beaucoup plus faible encore pour la terrasse (1,4) soit 10 fois moins que pour la bonne tanety. En ce qui concerne l'horizon profond,

on arrive tout de suite à des valeurs faibles, voisines de 1,8 à 2,0 pour les tanety et égales à 0,4 pour la terrasse.

Malgré la très faible capacité totale d'échange à pH 7, ces valeurs ne correspondent qu'à des taux de saturation faible, 6 à 26 % qui atteindraient cependant des valeurs de l'ordre de 60 % s'ils étaient mesurés au pH du sol.

En résumé, l'ensemble des données de l'analyse chimique ne semble pas non plus, en première analyse, être discriminant. Les caractéristiques obtenues sont en effet les suivantes :

- pH : très acide, sauf pour la terrasse,
- matière organique : même richesse,
- acide phosphorique assimilable : très grande pau-

vreté extrême des moyennes tanety et des mauvaises tanety ($0,014 + 0,012 \text{ ‰}$ et $0,016 + 0,012 \text{ ‰}$), un peu moins marquée sur les bonnes tanety et les terrasses ($0,016 + 0,020 \text{ ‰}$ ou $0,020 + 0,016 \text{ ‰}$).

— Potasse échangeable : pauvreté très importante également, les bonnes et mauvaises tanety sont identiques 0,11 et 0,10 m.e. en surface, 0,05 et 0,04 m.e. en profondeur. Par contre, la moyenne tanety et la terrasse sont particulièrement pauvres : valeurs inférieures à 0,05 m.e. en surface,

— somme des bases échangeables : seule la bonne tanety se différencie des trois autres stations par une valeur de S voisine de 2 (au lieu de 1,30 et 0,30).

CONCLUSIONS

En conclusion, il semble que les propriétés physiques ou mieux, le profil cultural, sont plus importantes que les caractéristiques classiques qui attestent d'une grande pauvreté en ions basiques et d'une carence plus généralisée encore en phosphore.

Les sols de mauvaises tanety érodées, sur migmatites, se différencient ainsi des matériaux de remaniement fluviolacustres anciens ou fluviatiles récents qui confèrent aux sols une meilleure pénétrabilité aux racines et, par là même, peut-être, une meilleure assimilabilité des éléments nutritifs.

Si on se limite aux éléments P et K , en prenant la bonne tanety comme référence (c'est la moins carencée en P en K) nous voyons que :

- la mauvaise tanety se distingue de la bonne tanety par une carence en P un peu plus accusée,
- la terrasse se caractérise par une carence en K particulièrement forte.
- la moyenne tanety est, comme la mauvaise, un peu plus pauvre en P et, comme la terrasse, très carencée en K .

RÉPONSES À LA FERTILISATION MINÉRALE

Pour chacune des stations étudiées dans le périmètre de Reboisement Industriel du Haut Mangoro, nous avons choisi un certain nombre d'expérimentations de *Pinus kesiya*. Elles permettent d'évaluer et de comparer la fertilité de ces stations et portent sur les techniques d'installation ou de conduite des peuplements artificiels de pins, et notamment sur la fertilisation soit à la plantation, soit quelques années plus tard.

La fertilisation à la plantation a étudié les thèmes suivants :

- effet des éléments N , P , K et leur interaction,
- interaction travail du sol — fertilisation,
- doses d'apport et formes du phosphore, de la potasse et de l'azote,

- modalités d'apport (localisé, superficiel, fractionné),
- effet du calcium, du magnésium et des oligoéléments.

La fertilisation en cours de plantation correspond à plusieurs préoccupations économiques :

- rattrapage des jeunes plantations malvenantes,
- maintien du rythme de croissance des jeunes plantations bienvenantes,
- fertilisation complémentaire des peuplements plus âgés. Parmi tous les essais réalisés, nous n'avons retenu ici que quelques-uns qui mettent bien en évidence l'effet respectif du phosphore et du potassium. Pour les autres, nous ne donnerons que les conclusions pratiques les plus importantes auxquelles ils aboutissent.

RÉSULTATS DES ESSAIS DE FERTILISATION SUR LES BONNES TANETY

Fertilisation à la plantation.

De toutes les expérimentations réalisées et étudiées

sur ces bonnes tanety, nous avons pu mettre en évidence l'effet d'une fertilisation P et l'effet d'une fertilisation K ; la fertilisation PK est de loin la meilleure.

Nous n'avons pratiquement jamais d'effet de l'azote, de la dolomie, du calcium et du magnésium.

Tous les essais montrent que nous avons, à peu de chose près, la même croissance pour des plants plantés dans les mêmes conditions : semis élevés en boulettes d'argile et plantés sur sous-solage-billonnage.

Le tableau des hauteurs observées à 4 ans 1/2 pour les quatre traitements *O*, *P*, *K* et *PK* dans les différents essais est donné ci-dessous.

L'essai n° 5 peut être pris comme référence car il est le plus complet et permet de connaître l'action de *P* avec et sans *K* et l'action de *K* avec et sans *P*. On trouvera, ci-dessous, ses résultats en valeur absolue puis en valeur relative, ainsi que sur le graphique n° 1 ci-contre, où nous avons reporté les résultats des hauteurs observées.

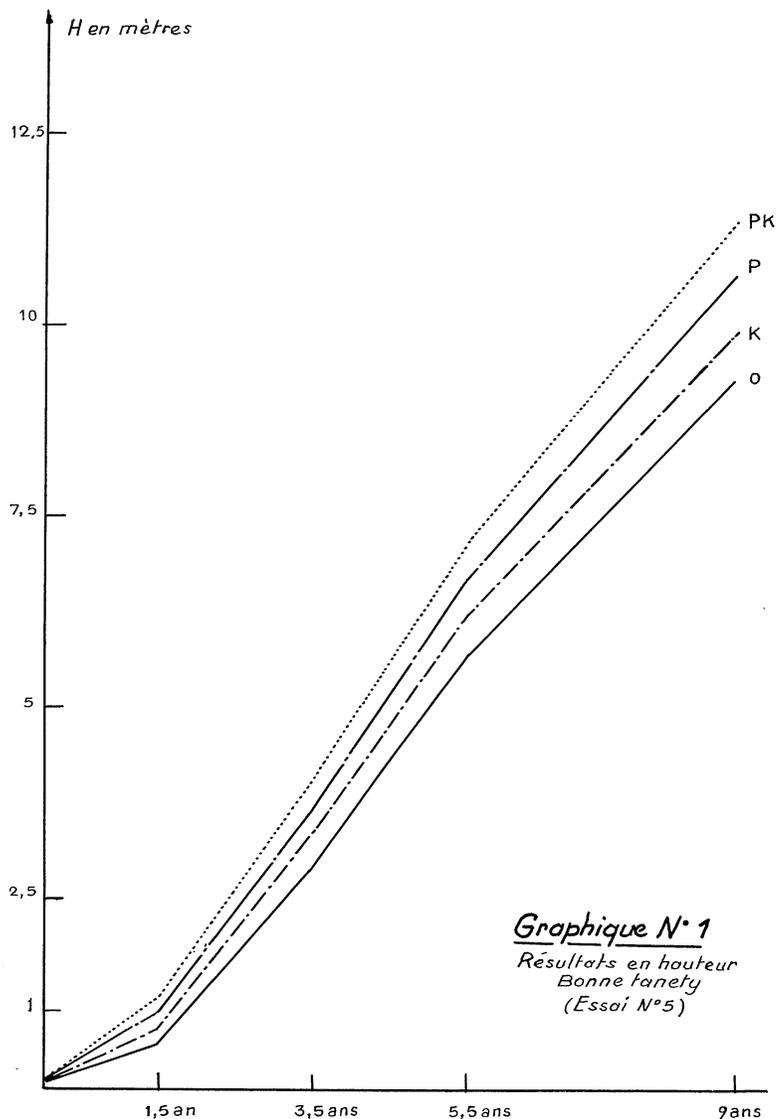
On constate donc que l'action de *P*, seul ou en présence de *K*, est très supérieure à l'action de *K*, seul ou en présence de *P*, et qu'il y a additivité de l'effet *P* et de l'effet *K* ; l'interaction des deux éléments est nulle.

Les autres essais, non détaillés ici, ont abouti aux conclusions pratiques suivantes :

- Les doses de potasse peuvent être limitées à 40 g de chlorure ou à 50 g de sulfate de potasse par pied. Nous voyons donc que des quantités très faibles, voisines de 50 kg de K_2O à l'hectare, permettent d'avoir un effet très net sur la croissance des arbres.

- De même pour l'acide phosphorique, la dose de 60 à 75 kg de P_2O_5 à l'hectare suffit pour améliorer la croissance, principalement dans les premières années de croissance (ce qui correspond à 100 g de phosphate tricalcique ou à 50 g de supertriple + 50 g d'hyperphosphate).

— Il faut observer aussi que les réponses des diverses formes d'engrais phosphatés ne sont pas différentes



Graphique N° 1
Résultats en hauteur
Bonne fanéty
(Essai N° 5)

Tableau des hauteurs observées à 4 ans 1/2

	Essai n°				
	5	10	11	12	17
<i>O</i>	4,3 m	2,9 m	3,4 m	—	4,4 m
<i>P</i>	5,3 m	3,6 m	—	4,6 m	—
<i>K</i>	4,8 m	—	—	—	—
<i>PK</i>	5,6 m	4,9 m	5,5 m	5,0 m	5,8 m

Hauteurs observées - Essai n° 5

Traitement	1 an 1/2	3 ans 1/2	4 ans 1/2	9 ans
<i>O</i>	0,6 m	2,9 m	4,3 m	9,3 m
<i>P</i>	1,1 m	3,8 m	5,3 m	10,9 m
<i>K</i>	0,8 m	3,4 m	4,8 m	10,0 m
<i>PK</i>	1,2 m	4,1 m	5,6 m	11,4 m
Action de <i>P</i> seul	+ 75 %	+ 30 %	+ 25 %	+ 15 %
Action de <i>K</i> seul	+ 25 %	+ 15 %	+ 10 %	+ 5 %
Action de <i>PK</i>	+ 100 %	+ 40 %	+ 30 %	+ 20 %
Action de <i>P</i> en présence de <i>K</i>	+ 50 %	+ 20 %	+ 15 %	+ 15 %
Action de <i>K</i> en présence de <i>P</i>	+ 10 %	+ 10 %	+ 5 %	+ 5 %

entre elles. Il convient donc d'utiliser la forme la plus économique.

— On n'observe aucun effet de la fertilisation azotée.

— Les modalités d'apport de l'engrais ont démontré que c'est l'apport simultané dans le trou de plantation et en profondeur dans la raie de sous-solage qui donne les meilleurs résultats.

Fertilisation après plantation.

L'expérimentation sur la fertilisation en cours de révolution des bonnes plantations (essai n° 38) donne des résultats bien différents de ceux obtenus à la plantation, notamment quant à la hiérarchie des effets de *P* et de *K*.

— l'action de *P* seul est pratiquement nulle (0 à 3 %),

— l'action de *K* seul est importante (20 % puis 10 %),

— l'action de *PK* est très importante (+ 30 % par rapport au témoin),

— il y a interaction positive de *P* et de *K*.

L'action de *P* en présence de *K* augmente d'année en année (10, 15 et 20 %) tandis que l'action de *K* en présence de *P* diminue peu à peu (35, 30 puis 25 %). L'expérimentation est encore un peu récente, mais elle confirme l'action très importante de *PK* combiné. L'action de *P* seul semble nulle, l'action de *K* seul semble faible, ce qui est contradictoire avec la fertilisation à la plantation.

C'est probablement le développement plus grand du système racinaire qui explique la hiérarchie différente des deux éléments à la plantation, et après plantation. *P* étant plus mobile a plus d'effet sur les jeunes plants dont les racines sont peu abondantes.

		1 an 1/2	2 ans 1/2	3 ans 1/2
Accroissement en hauteur (en m)	<i>O</i>	1,5	2,6	4,0
	<i>P</i>	1,5	2,6	4,1
	<i>K</i>	1,8	2,9	4,4
	<i>PK</i>	2,0	3,4	5,2
Action de <i>P</i> seul		0	0	+ 3 %
Action de <i>K</i> seul		+ 20 %	+ 10 %	+ 10 %
Action de <i>PK</i>		+ 30 %	+ 30 %	+ 30 %
Action de <i>P</i> en présence de <i>K</i>		+ 10 %	+ 15 %	+ 20 %
Action de <i>K</i> en présence de <i>P</i>		+ 35 %	+ 30 %	+ 25 %

RÉSULTATS DES ESSAIS DE FERTILISATION SUR LES TANETY DE FERTILITÉ MOYENNE

Pour cette station, sol de moyenne fertilité vis-à-vis de la croissance du pin, les essais de fertilisation ont démontré un effet principal de l'apport du phosphore en première année, toujours pour la dose de 70 kg à l'hectare. Cet effet diminue par la suite. L'effet de la potasse devient très vite prédominant. C'est la fertilisation *PK* qui donne les meilleurs résultats après neuf années de croissance (graphique n° 2).

- Il n'y a pas de réponse à la chaux, à la magnésie.
- Les différents modes de préparation du sol n'ont pas d'interaction avec l'effet fertilisation.

L'essai n° 1 dont les résultats sont donnés ci-dessous est bien représentatif de l'effet de la fertilisation sur ce type de station.

		1 an 1/2	3 ans 1/2	4 ans 1/2	9 ans 1/2
Hauteurs en mètres	<i>O</i>	0,5	1,7	2,6	7,6
	<i>P</i>	0,8	2,4	3,5	9,0
	<i>K</i>	0,9	3,2	4,6	11,5
	<i>PK</i>	1,1	3,7	5,2	11,8
Action de <i>P</i> seul		+ 60 %	+ 40 %	+ 35 %	+ 20 %
Action de <i>K</i> seul		+ 80 %	+ 90 %	+ 75 %	+ 50 %
Action de <i>PK</i>		+ 120 %	+ 120 %	+ 100 %	+ 55 %
Action de <i>P</i> en présence de <i>K</i>		+ 20 %	+ 15 %	+ 15 %	+ 2 %
Action de <i>K</i> en présence de <i>P</i>		+ 35 %	+ 55 %	+ 50 %	+ 30 %

On aboutit ainsi à des conclusions très différentes de celles obtenues sur les bonnes tanety :

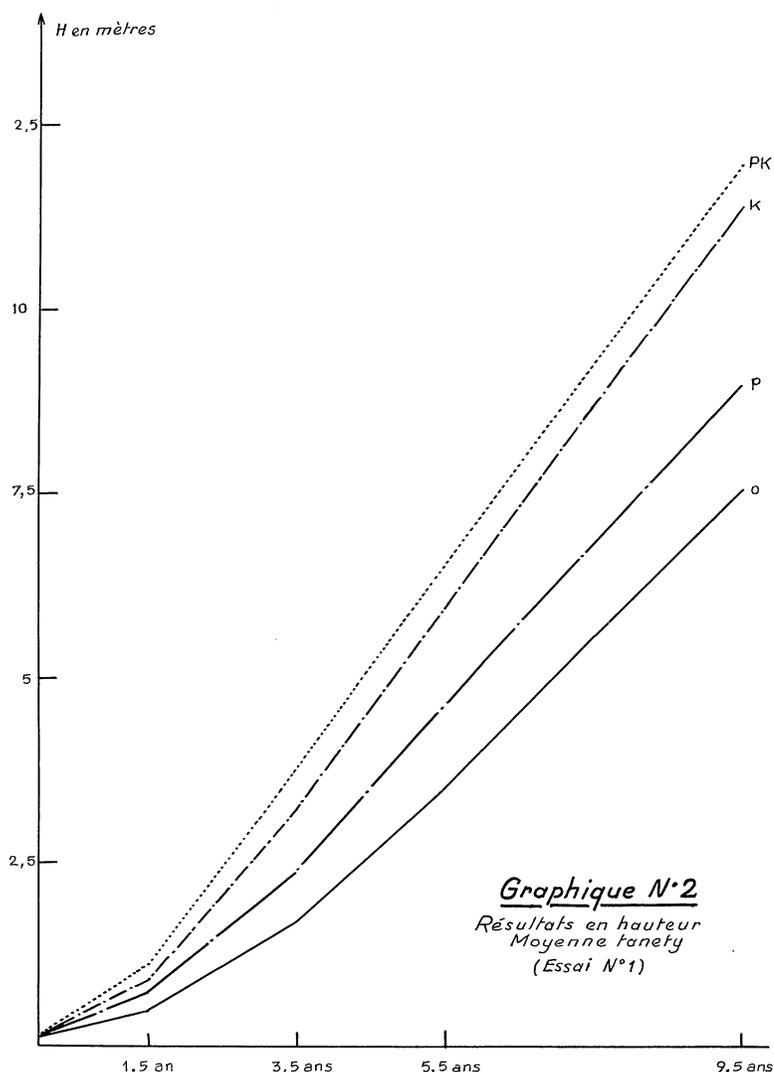
— l'effet de *P* seul décroît régulièrement mais représente toutefois un gain légèrement supérieur à celui obtenu sur les bonnes tanety (+ 20 % au lieu de + 15 % à 9 ans 1/2) ;

— l'effet de *K* seul est très important et permet un gain de 50 % à 9 ans 1/2, alors que *P* n'apporte que 20 % ;

— l'action de *PK*, très importante, est du même ordre que celle de *K* (55 % à 9 ans 1/2). Il y a donc plutôt interaction négative de *P* et de *K* donc l'effet totalement additif serait de 70 % ;

— si l'on étudie l'action de *P* en présence de *K*, on obtient des résultats relativement faibles : + 20 % les premières années, + 15 % les années suivantes, puis 10 % pour finalement n'être plus que 2 % à 9 ans 1/2 ; tandis que l'action de *K* en présence de *P* est très importante et se maintient à un niveau élevé ;

— l'effet principal sur les tanety de moyenne fertilité est donc celui de *K*, avec cependant un effet additionnel de *P* assez sensible les quatre premières années.



RÉSULTATS DES ESSAIS DE FERTILISATION SUR LES MAUVAISES TANETY

Le périmètre de reboisement industriel du Haut-Mangoro présente de grandes superficies où la croissance des arbres est médiocre. L'aspect végétatif souffreteux des arbres très souvent est accentué par des dessèchements plus ou moins prononcés, plus ou moins totaux, causant parfois la mort du végétal. Une parcelle située à Mahatsinjo ayant été ainsi entièrement détruite (100 % de mortalité à l'âge de 4 ans) par ce phénomène de dessèchement-dépérissement sur pied, nous avons installé deux essais en 1975 concernant les oligo-éléments pour savoir si ce phénomène était bien dû à une carence en un ou plusieurs éléments.

Les expérimentations sur ces terrains de mauvaise fertilité portent à la fois sur la fertilisation à la plantation et sur la fertilisation après plantation (fertilisation de rattrapage).

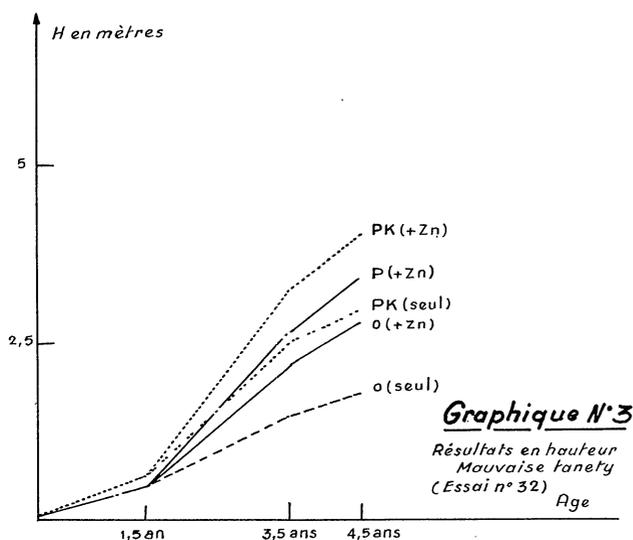
Pour cette station à croissance médiocre, la fertilisation *PK* joue un rôle très important, **mais le phénomène de la carence en zinc semble être de toute façon un facteur limitant**. En effet, le zinc s'est montré particulièrement efficace pour lutter contre le dessèchement qui apparaît dans les jeunes années. Il suffit de l'apporter à la dose de 10 g de chlorure de zinc par pied pour avoir une première action efficace. Dans tous les essais analysés ci-après la carence potentielle en zinc a été ainsi levée.

Fertilisation à la plantation.

Seul l'essai n° 32, avec les parcelles ayant reçu de la nutramine à la plantation, peut donc nous renseigner sur les effets de *P* et de *K* (graphique n° 3).

Le tableau complet des résultats est alors le suivant :

		1 an 1/2	2 ans 1/2	3 ans 1/2	4 ans 1/2
Hauteur moyenne en m	O	0,50	1,10	2,19	2,81
	P	0,52	1,33	2,65	3,41
	K	—	—	—	—
	PK	0,64	1,65	3,21	3,99
Action de P seul		15 %	20 %	20 %	20 %
Action de K seul		—	—	—	—
Action de PK		30 %	50 %	45 %	40 %
Action de P en présence de K		—	—	—	—
Action de K en présence de P		10 %	25 %	20 %	15 %



Du fait que le traitement K seul ne soit pas testé, nous ne pouvons pas connaître l'action de K seul ni en déduire l'action de P en présence de K.

Fertilisation après plantation.

Les expérimentations de fertilisation de rattrapage

font apparaître un effet PK et confirment l'effet du zinc.

La réponse aux éléments PK apportés à doses croissantes a été nette jusqu'à la dose de 200 g de superphosphate simple, plus 200 g de polyfos et 100 g de sulfate de potasse par plant, soit environ 150 à 200 kg de P_2O_5 et 100 kg de K_2O à l'hectare.

En ne retenant que les traitements O - P - K - PK de l'essai n° 35 nous obtenons les résultats ci-dessus concernant les accroissements en hauteur Δh et les actions de P, K et PK.

- L'action de P seul est très importante.
- L'action de K seul est pratiquement nulle dès la seconde année.
- L'action de PK est très importante, + 60 % par rapport au témoin. Il y a interaction PK puisque cet effet PK est le double de la somme des deux effets P et K.
- L'action de P en présence de K est très importante et se maintient à un niveau élevé.
- L'action de K en présence de P, moins importante, est tout de même restée à un niveau élevé ; par rapport aux résultats obtenus sur les bonnes tanyety (+ 25 % pour les deux sols à 3 ans 1/2), nous obtenons le même gain relatif.

FERTILISATION APRÈS PLANTATION

		1 an 1/2	2 ans 1/2	3 ans 1/2
Δh en m	O	0,39	0,78	1,00
	P	0,55	1,06	1,31
	K	0,47	0,80	1,03
	PK	0,80	1,32	1,60
Action de P seul		40 %	35 %	30 %
Action de K seul		20 %	3 %	3 %
Action de PK		105 %	70 %	60 %
Action de P en présence de K		70 %	65 %	55 %
Action de K en présence de P		45 %	25 %	25 %

RÉSULTATS DES ESSAIS DE FERTILISATION SUR LES TERRASSES

Deux expérimentations de fertilisation à la plantation ont été réalisées sur ces sols de terrasses, sur *Pinus kesiya*. Seul l'essai factoriel *NPK* n° 26 a été analysé tandis que l'essai n° 39 n'est qu'un essai de ligniculture où l'on teste l'influence du travail du sol, de l'entretien et de la fertilisation renouvelée des plantations de *Pinus kesiya*.

Sur ces sols de terrasse, les essais au champ montrent qu'avec les doses habituelles d'éléments fertilisants, nous avons principalement un effet de *K* positif, aussi bien sur la hauteur totale que sur l'accroissement annuel en hauteur (votre graphique n° 4).

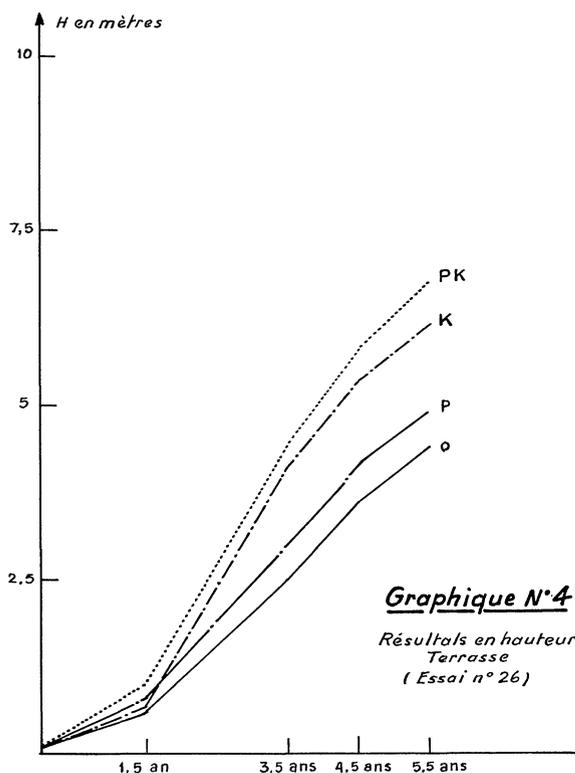
Le tableau récapitulatif ci-dessous et le graphe n° 4

font la synthèse des résultats obtenus sur cette station.

- l'action de *P* seul très importante la première année passe au second plan dès la seconde année ;
- l'action de *K* seul est très importante à partir de la seconde année ;
- l'action de *PK* est à peu de chose près égale à *P + K* ;
- l'action de *P* en présence de *K* reste relativement faible, sauf pour la première année ;
- l'action de *K* en présence de *P*, par contre, est très importante.

Il y a donc prédominance de *K* sur *P* sur cette station, sols de terrasses.

		1 an 1/2	3 ans 1/2	4 ans 1/2	5 ans 1/2
Hauteur en mètres	<i>O</i>	0,58	2,50	3,60	4,39
	<i>P</i>	0,78	3,00	4,15	4,91
	<i>K</i>	0,71	4,07	5,33	6,17
	<i>PK</i>	0,98	4,45	5,80	6,75
Action de <i>P</i> seul		35 %	20 %	15 %	10 %
Action de <i>K</i> seul		20 %	65 %	50 %	40 %
Action de <i>PK</i>		70 %	80 %	60 %	55 %
Action de <i>P</i> en présence de <i>K</i>		40 %	10 %	10 %	10 %
Action de <i>K</i> en présence de <i>P</i>		25 %	50 %	40 %	35 %



CONCLUSIONS DES RÉSULTATS OBTENUS AU CHAMP

Expérimentations à la plantation.

Les résultats obtenus dans les essais les plus représentatifs sur les quatre types de stations sont regroupés dans le tableau ci-dessous et le graphique n° 5 ci-contre :

Hauteurs en mètres		Bonne tanety Essai n° 5	Moyenne tanety Essai n° 1	Mauvaise tanety Essai n° 32	Terrasse Essai n° 26
1 an 1/2	O	0,6	0,5	0,5	0,6
	P	1,1	0,8	0,57	0,8
	K	0,8	0,9	—	0,7
	PK	1,2	1,1	0,64	1,0
3 ans 1/2	O	2,9	1,7	2,2	2,5
	P	3,8	2,4	2,65	3,0
	K	3,4	3,2	—	4,1
	PK	4,1	3,7	3,2	4,5
4 ans 1/2	O	4,3	2,6	2,8	3,6
	P	5,3	3,5	3,4	4,1
	K	4,8	4,6	—	5,3
	PK	5,6	5,2	4,0	5,8

L'examen de ces résultats montre :

— que la croissance de base (témoin 0) différencie bien les bonnes tanety des moyennes et mauvaises tanety ;

— que la fertilisation a un effet variable puisqu'avec la fertilisation PK, à 4 ans 1/2, nous avons des gains de hauteurs moyennes de l'ordre de 1,2 m pour les mauvaises comme pour les bonnes tanety alors que l'on gagne 2,2 m pour les terrasses et 2,6 m pour les moyennes tanety.

L'analyse des actions P et K est résumée dans le tableau ci-contre :

— P a un effet supérieur à K pour les bonnes tanety,
— K a un effet supérieur à P pour les moyennes tanety,

— P a un effet supérieur à K la première année, puis inférieur à K à partir de la seconde année pour les terrasses.

En ce qui concerne l'effet K, il est toujours très important. Sur les bonnes tanety et les terrasses, il y a additivité des effets P et K, sans aucune interaction. Pour les moyennes tanety, il y aurait interaction négative puisque nous avons : effet PK < effet P + effet K. Pour les mauvaises tanety, nous n'avons pu mettre en évidence cet effet K, mais on peut penser qu'il est relativement faible, à peu près comme pour les bonnes tanety.

L'action de P en présence de K est relativement forte la première année, mais diminue par la suite. Elle est la plus élevée pour les bonnes tanety et les terrasses, mais moindre pour les moyennes tanety.

%	Δh par rapport au témoin	Bonne tanety	Moyenne tanety	Mauvaise tanety	Terrasse
Effet P seul	1 an 1/2	75	60	15	35
	3 ans 1/2	30	40	20	20
	4 ans 1/2	25	35	20	15
Effet K seul	1 an 1/2	25	80		20
	3 ans 1/2	15	90		65
	4 ans 1/2	10	75		50
Effet PK	1 an 1/2	100	120	30	70
	3 ans 1/2	40	120	45	80
	4 ans 1/2	30	100	40	60
Action de P en présence de K	1 an 1/2	50	20		40
	3 ans 1/2	20	15		10
	4 ans 1/2	15	15		10
Action de K en présence de P	1 an 1/2	10	35	10	25
	3 ans 1/2	10	55	20	50
	4 ans 1/2	5	50	15	40

L'action de K en présence de P est très importante pour les moyennes tanety et les terrasses. Elle est plus importante à 3 et 4 ans que la première année.

En conclusion des essais de fertilisation à la plantation, nous pouvons donc dire :

— Que la carence en P est générale et moyenne pour les 4 stations.

— Que les bonnes tanety sont bonnes parce qu'elles sont peu carencées en potasse.

— Que les moyennes tanety sont mauvaises parce que très carencées en potasse.

— Que les mauvaises tanety sont très mauvaises parce que très carencées en zinc. Le zinc est un facteur limitant. Si cette carence est corrigée, les mauvaises tanety apparaissent alors comme moins pauvres que les moyennes tanety (moins carencées en potasse). Elles restent néanmoins nettement inférieures aux bonnes tanety. Cette différence n'est pas due aux teneurs en P et en K, mais à d'autres caractéristiques physiques plus vraisemblablement : Al libre faible par rapport à une teneur en argile plus forte dès la surface et atteignant 50 % en profondeur et forte pierrosité.

— Que les terrasses sont mauvaises parce que très pauvres en potasse.

Ces conclusions se maintiennent au-delà de la 4^e année.

Expérimentations après plantation.

Les expérimentations de fertilisation en cours de révolution réalisées uniquement sur bonne et mauvaise

tanety montrent des accroissements en hauteur obtenus avec une fertilisation P - K ou PK surtout très significativement différents entre les deux stations, dont les écarts augmentent avec l'âge (tableau ci-dessous et graphe n° 6).

Par rapport aux mauvaises tanety, on trouve un effet PK plus important en valeur absolue pour les bonnes tanety ($\Delta h = 1,2$ m au lieu de 0,6 m à 3 ans), mais moins important en valeur relative (+ 30 % au lieu de + 60 %).

La comparaison des hauteurs ou des accroissements en hauteur n'est, en fait, valable que si l'on tient compte de la hauteur initiale. Il faut donc « ajuster » les hauteurs pour corriger les inégalités de départ, au moins pour les deux premières années de l'expérimentation. Les écarts deviennent ensuite suffisamment importants pour que ce ne soit plus nécessaire.

Il semble qu'il y ait un léger effet P pour les mauvaises tanety et un léger effet K pour les bonnes tanety.

Les actions de P ou de K seuls ou en présence de l'autre élément sont résumées dans le tableau ci-dessous :

— L'effet de PK est très important et, cette fois, pour les deux sols étudiés, il y a interaction de P et de K puisque l'effet PK est très supérieur à la somme de l'effet P et de l'effet K.

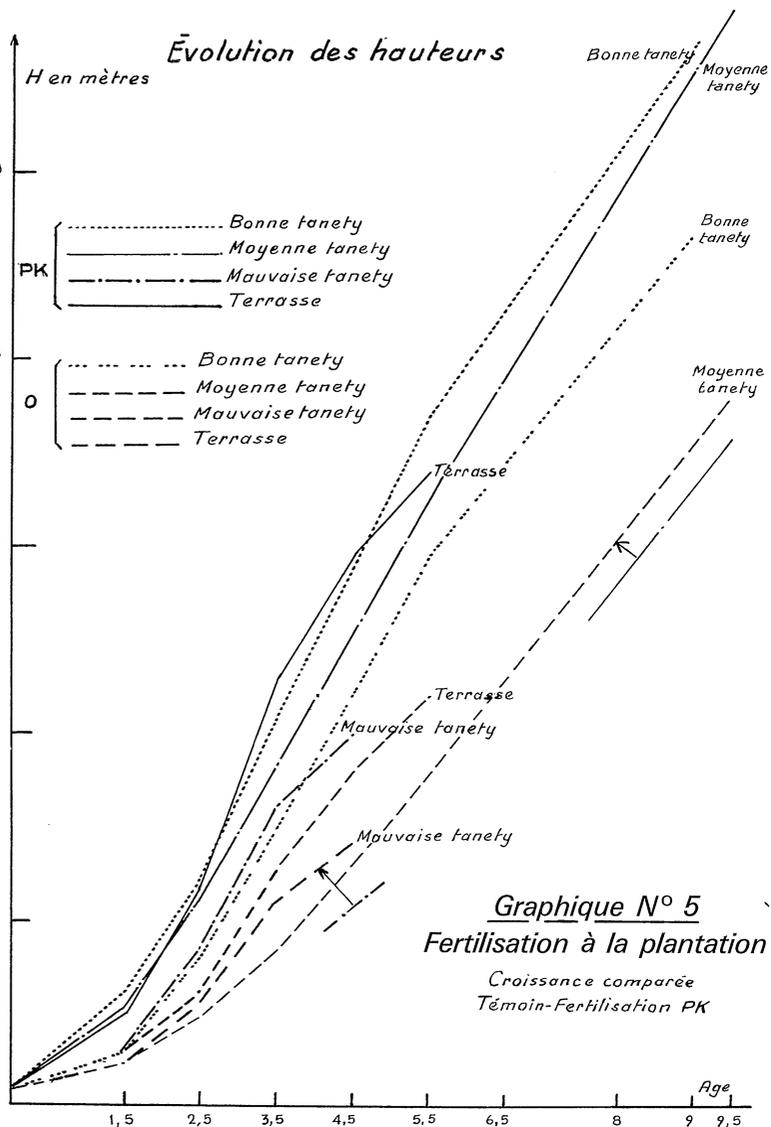
— L'action de P en présence de K est la plus forte pour les mauvaises tanety.

— L'action de K en présence de P est à peu près équivalente pour les deux sols.

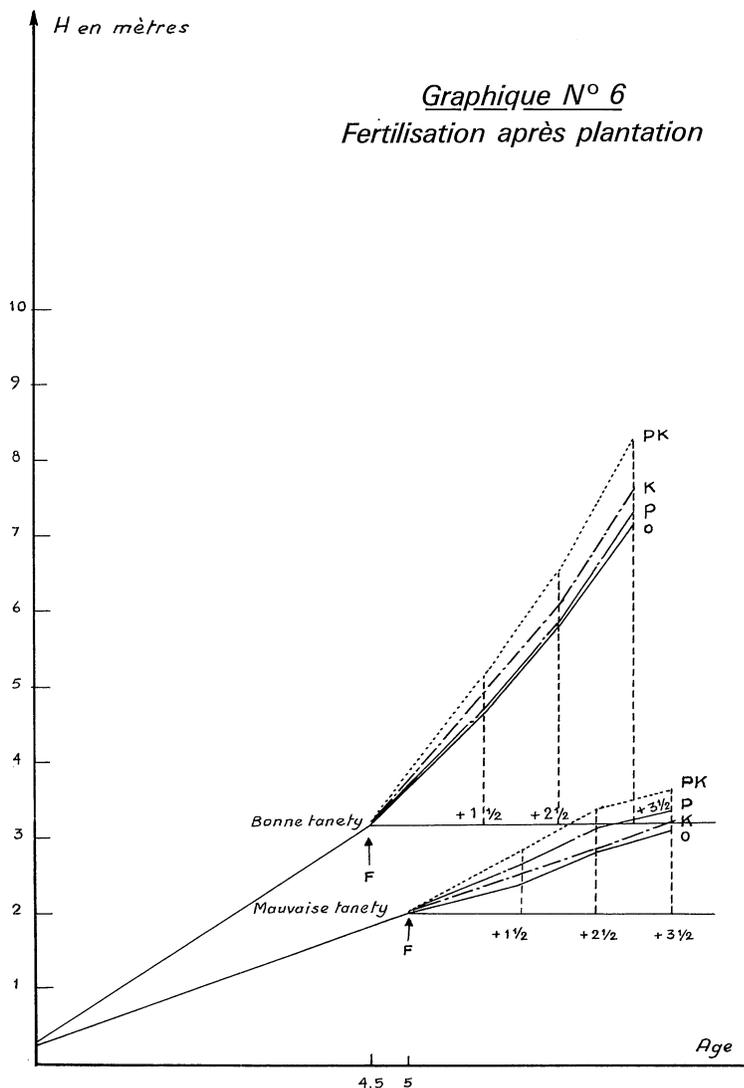
— La carence en zinc, très nette pour les mauvaises tanety, a peut-être une influence sur les résultats, ce qui expliquerait alors les différences entre bonne et mauvaise tanety.

ACCROISSEMENTS EN HAUTEUR

Accroissement en hauteur (en m)		Bonne tanety	Mauvaise tanety
Δh en 1 an 1/2	O	1,5	0,4
	P	1,5	0,6
	K	1,8	0,5
	PK	2,0	0,8
	2PK	2,2	—
Δh en 2 ans 1/2	O	2,6	0,8
	P	2,6	1,1
	K	2,9	0,8
	PK	3,4	1,4
	2PK	3,8	—
Δh en 3 ans 1/2	O	4,0	1,0
	P	4,1	1,3
	K	4,4	1,0
	PK	5,2	1,6
	2PK	5,9	—



Δh % par rapport au témoin		Bonne tanety	Moyenne tanety	Mauvaise tanety	Terrasse
Effet P seul	1 an 1/2	0		35	
	2 ans 1/2	0		35	
	3 ans 1/2	3		30	
Effet K seul	1 an 1/2	20		15	
	2 ans 1/2	10		3	
	3 ans 1/2	10		3	
Effet PK	1 an 1/2	30		100	
	2 ans 1/2	30		60	
	3 ans 1/2	30		60	
Action de P en présence de K	1 an 1/2	10		70	
	2 ans 1/2	15		70	
	3 ans 1/2	20		60	
Action de K en présence de P	1 an 1/2	35		45	
	2 ans 1/2	30		30	
	3 ans 1/2	25		25	



Conclusions.

En définitive et en associant les résultats de la fertilisation à la plantation et ceux de la fertilisation après plantation, les quatre stations se caractérisent ainsi :

— Les sols ferrallitiques sur alluvions anciennes, correspondant aux **bonnes tanety**, ont une faible carence en *P* et une assez **bonne fertilité potassique**, ce qui

explique bien le bon comportement général des plantations. Il n'y a pratiquement pas de cas de carence en zinc.

— Les sols ferrallitiques indurés correspondant aux **moyennes tanety**, ont une pauvreté en *P* légèrement plus marquée que les précédentes et surtout **une très grande pauvreté en potasse**. Il n'y a pratiquement pas non plus de cas de carence en zinc.

— Les sols ferrallitiques sur migmatites (typiques ou le plus souvent remaniés), correspondant aux **mauvaises tanety**, sont **surtout carencés en zinc**, carence que l'on n'a pas encore pu expliquer. Lorsqu'on a éliminé cette carence, on peut juger :

- que la fertilité en *P* est à peu près équivalente à la moyenne tanety et moins bonne que pour la bonne tanety, cette différence semblant refléter surtout une plus faible teneur en *P* dans les horizons profonds,
- que la fertilité en *K* est un peu inférieure à celle de la bonne tanety et nettement supérieure à celle de la moyenne tanety,
- que les caractéristiques physiques interviennent beaucoup pour expliquer la relative mauvaise croissance des plantations de Pins.

— Les sols ferrallitiques hydromorphes des terrasses récentes, correspondant aux **terrasses sableuses**, ont une pauvreté en *P* à peu près équivalente à la bonne tanety, donc **relativement peu carencés en *P***, et **une pauvreté en potasse accentuée** équivalente à celle des moyennes tanety.

Nous avons donc une carence générale en *P*. La carence en *K* est beaucoup plus importante pour la moyenne tanety et la terrasse que pour les bonne et mauvaise tanety.

(A suivre)