

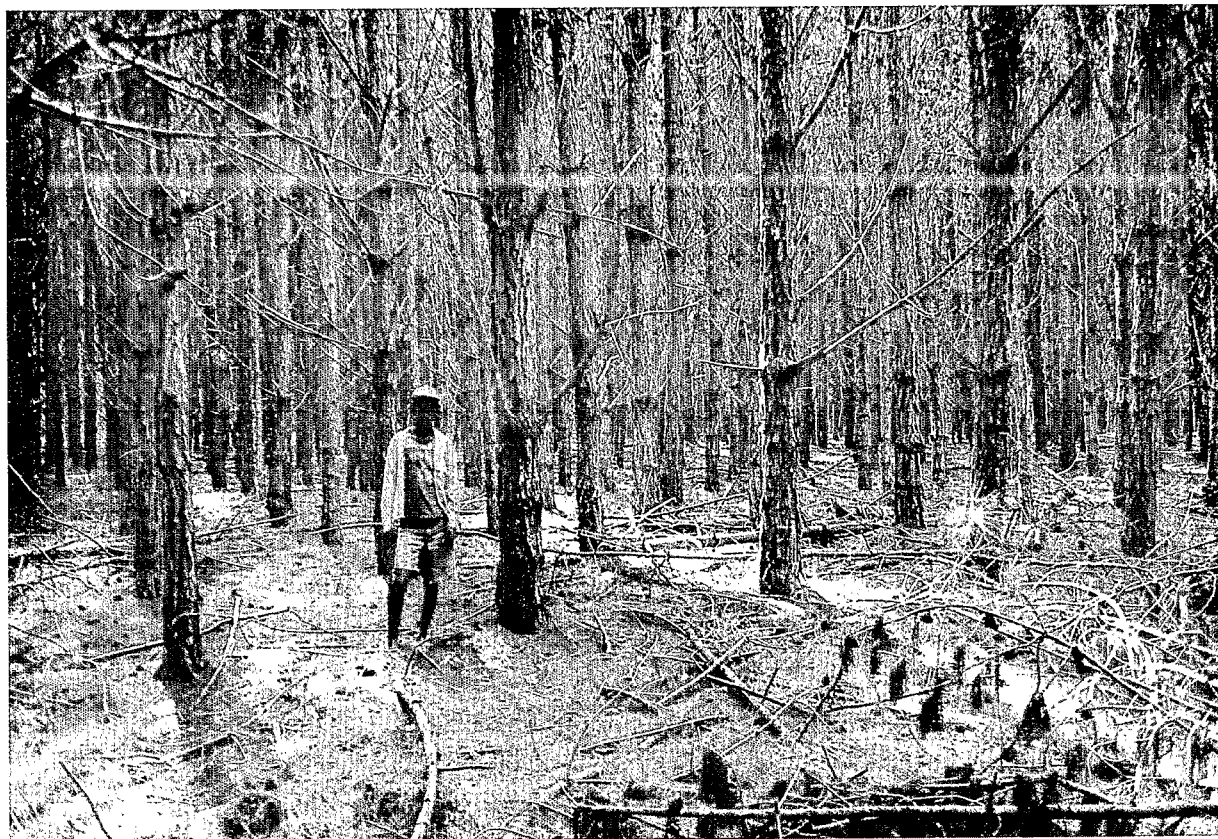


LAURENT SCHMITT
CIRAD-Forêt

JEAN-PIERRE BOUILLET
CIRAD-Forêt

TSOA RAFALY
D.R.F.P./FOFIFA

LA FERTILISATION DE *PINUS KESIYA* À MADAGASCAR



Parcelle de 25 ans (non éclaircie) établie sur plateau, fertilisation P à la plantation.
25-year-old plot (unthinned) set on a plateau, P fertilizer applied at planting.



Cet article présente les résultats des essais sur la préparation du terrain et la fertilisation de *Pinus kesiya*, suivis depuis plus de vingt ans dans le cadre d'un programme de recherche forestière que le CIRAD-Forêt et le D.R.F.P./FOFIFA* ont mené dans le bassin du Mangoro à Madagascar.

A Madagascar, dans le bassin du Mangoro, les 80 000 hectares plantés en pins tropicaux, dont 50 000 hectares avec *Pinus kesiya*, illustrent bien l'intérêt porté aux reboisements en essences à croissance rapide pour l'amélioration de l'économie des pays en développement. Dès la création du massif en 1969, la recherche forestière a mis en place une soixantaine d'essais sur *Pinus kesiya* visant pour la plupart à définir les modalités pratiques d'une sylviculture engagée dans la production intensive de bois de pâte à papier à courte révolution (≈ 15 ans). Les essais ont porté en priorité sur la fertilisation des peuplements. En effet, des expérimentations antérieures sur *Pinus patula* montraient la nécessité, sur les Hautes Terres malgaches, de corriger la fertilité des sols voués aux reboisements (BAILLY *et al.*, 1971). De plus, bien que *Pinus kesiya* ait une réputation de frugalité (NGUYEN, 1966), les ré-

férences, bien que peu nombreuses sur cette espèce, montraient que la fertilisation pouvait s'avérer indispensable : apport de NP aux Philippines ou de bore au Brésil, en Malaisie et en Zambie (ARMITAGE *et al.*, 1980). Les résultats ont conduit à préconiser des interventions combinant la préparation mécanisée du terrain et l'apport d'une fumure phospho-potassique au trou de plantation (MALVOS, 1980). Mais un récent bilan des expérimentations amène à s'interroger sur le bien fondé de cet itinéraire cultural.

PRÉSENTATION DU SITE

La région considérée se rattache à la zone des Hauts Plateaux. L'altitude est d'environ 950 m, le climat est tropical d'altitude à influence orientale (température et pluviométrie moyennes annuelles : ≈ 20 °C et



Parcelles de 26 ans (non éclaircies) établies sur un ancien champ de manioc ; de gauche à droite : témoin – fertilisation K à la plantation.
26-year-old plots (unthinned) set up on an old field of manioc, from left to right : control – K fertilizer applied at planting.

* Département des Recherches Forestières et Piscicoles du Centre National de la Recherche Appliquée au Développement Rural.



≈ 1 500 mm). Les résultats présentés ici proviennent d'essais installés sur des sols de type ferrallitique développés à partir de divers matériaux mais dans l'ensemble fortement désaturés et déficients en phosphore. La première des trois stations où les essais ont été effectués correspond aux versants de collines formés sur migmatites. L'épaisseur de l'horizon humifère et la teneur en matière organique sont faibles (hauteur dominante à 5 ans = $H_{0,5} = 2,7$ m). Les deux autres composent les étendues relativement planes (plateaux et terrasses), établies sur alluvions, où l'on distingue les anciens terrains de culture ($H_{0,5} = 3,5$ m) des savanes naturelles ($H_{0,5} = 5,5$ m) : la morphologie du relief et le passé cultural apparaissent en effet comme des critères déterminants dans la typologie des sols.

RÉSULTATS

Dans la suite du texte, les symboles suivants seront utilisés :

H = hauteur moyenne,

G = surface terrière totale.

Les résultats porteront sur H pour la phase d'installation des peuplements et sur G pour la période ultérieure.

La densité de plantation varie suivant les essais de 1 600 à 2 000 plants/ha.

ESSAIS DE TRAVAIL DU SOL

Les essais ont eu pour but de tester, avec ou sans apport de fumure PK et dolomie, diverses façons culturales : trouaison manuelle, sous-solage (sur 40 cm), billonage, sous-solage billonage et labour en bandes. Les résultats de l'expérience la plus complète montrent que seul l'apport d'engrais a un effet significatif, quel que soit le critère considéré (H à 4,5 ans ou G à 10 ans). Bien que l'interaction fertilisation travail du sol ne soit pas significative, sa valeur paraît suffi-

samment importante pour qu'on analyse séparément les traitements avec ou sans fertilisation. On distingue alors (cf. tableau I) :

□ **L'efficacité du labour sans fertilisation.** Les trois interventions incluant un retournement des horizons superficiels sont les seules à avoir un effet bénéfique sur la hauteur moyenne à 4,5 ans. A 10 ans, seul le labour en bandes permet une production en surface terrière significativement supérieure au témoin (+ 4,8 m²/ha).

□ **L'inefficacité du travail du sol avec fertilisation.** Aucune distinction ne peut être faite entre les différentes façons culturales. Au terme de la période d'installation, le sous-solage billonage présente un léger avantage sur les autres techniques mais la valeur des surfaces terrières suffit à démontrer que le travail du sol est inutile lorsqu'on fertilise avant la plantation.

ESSAIS DE FERTILISATION

La fertilisation à la plantation

Le tableau II, p. 48, rassemble les principaux résultats des expérimentations ayant eu pour but de définir, suivant les stations, la nature des apports à effectuer à la plantation.

□ **Fertilisation des versants.** Les pentes se caractérisent par des conditions édaphiques particulièrement sévères qui conduisent à une très faible croissance des peuplements et à des dessèchements de cime liés à une carence en zinc. Il est de ce fait nécessaire d'appliquer une fumure de redressement la plus complète possible : N, P, K, Zn. Celle-ci permet à 7 ans un gain remarquable en surface terrière de 17,6 m²/ha (+ 500 % par rapport au témoin) et conduit à une production comparable à celle des peuplements-témoins venant sur les meilleurs sols. Il faut noter que NPK (5-30-24 g/plant) est un facteur limitant au même degré que le zinc

Sans engrais		Avec engrais (PK + dolomie)	
$H_{4,5}$	G_{10}	$H_{4,5}$	G_{10}
T 1,4	T 10,2	B 3,5	B 23,2
SS 1,6	S 12,2	Lb 3,6	SSB 24,8
Lb 2,1	B 13,8	T 3,7	SS 25,3
B 2,3	SSB 13,8	SS 3,8	T 26,0
SSB 2,4	Lb 15,0	SSB 3,9	Lb 26,2

|| = signification au seuil de 5 %.
T : trouaison manuelle (témoin).
SS : sous-solage.
B : billonage.
SSB : sous-solage billonage.
Lb : labour en bandes.

TABLEAU II
RÉSULTATS D'ESSAIS DE FERTILISATION À LA PLANTATION :
HAUTEUR MOYENNE (H en m) ET SURFACE TERRIÈRE TOTALE (G en m²/ha) À DIFFÉRENTS ÂGES (an)

Station	Essai	Age	Variable	Témoïn	Meilleur traitement	
Pentes	fumures (P, PK, NPK) nutramine*	4	H	1,9	N₂P₃₀K₂₄ + nut. ₁₂	4,2
		7	G	3,5	N₂P₃₀K₂₄ + nut. ₁₂	21,1
Anciennes terres de culture	factoriel (Ca + Mg)PK	4,5	H	2,6	K₂₄ + P	5,2
		10	G	16,2	K₂₄ + (Ca + Mg)	33,1
	factoriel NPK	4,5	H	3,6	K₂₄ + P	5,8
		10	G	17,6	K₂₄	25,8
Savanes naturelles	factoriel (Ca + Mg)PK	4,5	H	4,3	P₃₈ + K	5,7
		10	G	29,6	P₃₈ + (Ca + Mg)	36,6
	factoriel NPK	4,5	H	3,6	P₅₃ + K	5,3
		10	G	30,8	P₅₃ + K	38,9

Les éléments en caractères gras sont les plus efficaces, leur indice signifie la quantité apportée (g/plant).

* Un autre essai a montré que le zinc était le seul oligo-élément agissant.



Parcelles de 20 ans (non éclaircies) établies sur pente et fertilisées à la plantation. Au premier plan : traitement NPK, en arrière-plan : traitement NPK + Zn.
 20-year-old plots (unthinned) set up on a slope and fertilized at planting. On the foreground : NPK treatment, background : NPK + Zn treatment.

(0,6 g/plant) : les deux types d'apport agissent déjà lorsqu'ils sont appliqués seuls (cf. fig. 1) et leur association entraîne une interaction positive.

□ **Fertilisation des plateaux et terrasses.** Quatre essais permettent

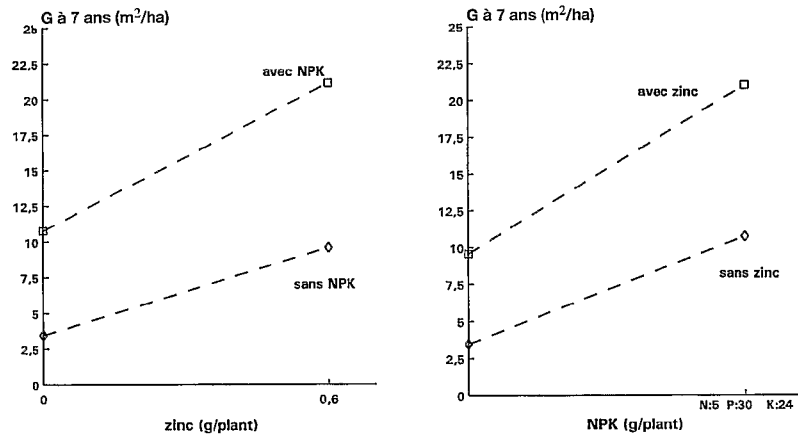
d'étudier les effets des éléments N, P, K, Ca, Mg, isolés ou associés.

- En phase d'installation : les réponses aux applications de potasse ou de phosphore sont beaucoup plus importantes et fréquentes que celles obtenues avec l'azote ou un

amendement calco-magnésien. L'analyse de la hauteur moyenne en cinquième saison de végétation démontre que les seuls effets significatifs sont ceux de la potasse (24 g de K₂O/plant) et du phosphore (38 ou 53 g de P₂O₅/plant selon l'essai). Par ailleurs, il n'existe pas d'interac-



Figure 1. Représentation de l'interaction NPK x Zinc observée sur versants.



tion significative P x K. La fumure phospho-potassique se révèle donc la plus active mais le rôle primordial revient à la potasse pour les terres qui en manquent par suite d'une culture antérieure (manioc ou arachide) et au phosphore pour les savanes naturelles.

• En période ultérieure : on observe que l'action de P et K ne se prolonge pas au-delà de 5 à 7 ans ; l'accroissement supplémentaire en surface terrière éventuellement observé n'est plus dû à l'effet direct de la fumure mais à un matériel générateur, foliaire et racinaire, plus développé. Etant donné que toutes les quantités de P₂O₅ et de K₂O n'ont pas dû être consommées, on peut évoquer les phénomènes classiques de rétrogradation du phosphore

vers des formes peu assimilables et de perte de potasse par lessivage faute d'un complexe absorbant suffisant (GROS, 1979 ; IRAT, 1967).

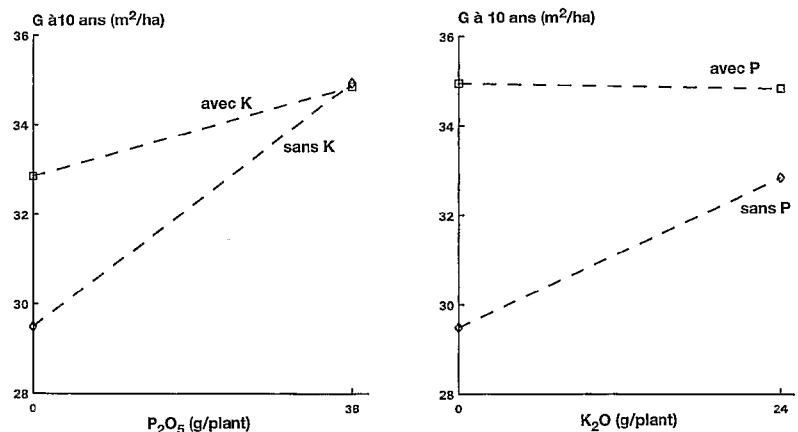
• Quant à l'interaction P x K, elle apparaît au Mangoro rarement favorable. Dans trois expériences sur quatre, l'apport de l'élément le plus limitant s'avère aussi efficace que l'association PK en raison d'une interaction négative (cf. fig. 2). L'additivité des effets ne s'observe en fait que dans un essai installé sans labour. Il semblerait qu'avec une fertilisation PK, le travail du sol, en permettant un meilleur développement racinaire, entraîne un épuisement rapide des éléments disponibles, notamment ceux provenant de la minéralisation accélérée de la matière organique. L'interaction né-

gative P x K s'expliquerait alors par l'apparition d'un facteur limitant, qui reste à déterminer.

• Des carences en zinc peuvent se manifester sur les meilleurs sols. La fréquence des dessèchements de cime est alors liée à la nature de l'itinéraire cultural pratiqué. Les symptômes de dépérissement sont beaucoup plus fréquents, d'une part sur sol travaillé mécaniquement, d'autre part après l'apport d'engrais potassique au trou de plantation. La fertilisation phosphatée a, par contre, un effet bénéfique lorsqu'appliquée seule mais elle ne parvient pas complètement à compenser l'influence négative de la potasse lorsque les deux types de fumure sont combinés.

• Formule conseillée : on peut préconiser l'apport à la plantation de

Figure 2. Représentation de l'interaction P x K observée sur savanes naturelles.





l'élément le plus limitant, soit K pour les anciens terrains de culture et P pour les savanes naturelles. Les doses conseillées sont alors de 25-30 g de K_2O /plant et 40-50 g de P_2O_5 /plant. La meilleure production semble devoir être obtenue avec, en complément, un amendement calco-magnésien (150 g de dolomie/plant).

La fertilisation de rattrapage

Pour les étendues planes, l'efficacité du labour sans fertilisation ainsi que l'interaction négative entre le travail du sol et la fumure PK conduisent à se poser la question de l'opportunité de dissocier dans le temps les deux

interventions. Peu d'essais permettent de répondre mais les quelques résultats obtenus mettent en évidence :

- l'absence d'effet du phosphore, contrairement à ce que l'on observe pour la fertilisation de départ ;
- l'effet significatif d'un apport de potasse (24 g de K_2O /plant) à des plantations bienvenantes âgées de 4-5 ans et établies sur terrain travaillé ou non. Il semblerait qu'on puisse espérer en fin de révolution une production analogue à ce que permet la fumure phosphatée de départ.

Homogénéisation des peuplements

Outre un gain de croissance moyenne, la fertilisation conduit à des peuplements plus homogènes et donc plus intéressants dans un objectif papetier. Un exemple de ce phénomène est illustré par la figure 3 : sur les anciens sols de culture, la distribution des tiges par classe de circonférence est significativement différente, au seuil de 1 % ($\chi^2 = 387$), entre le témoin et une fertilisation K + dolomie. Ce dernier traitement présente alors un coefficient de variation sur la circonférence moyenne de 31,0 % à comparer à 45,1 %.

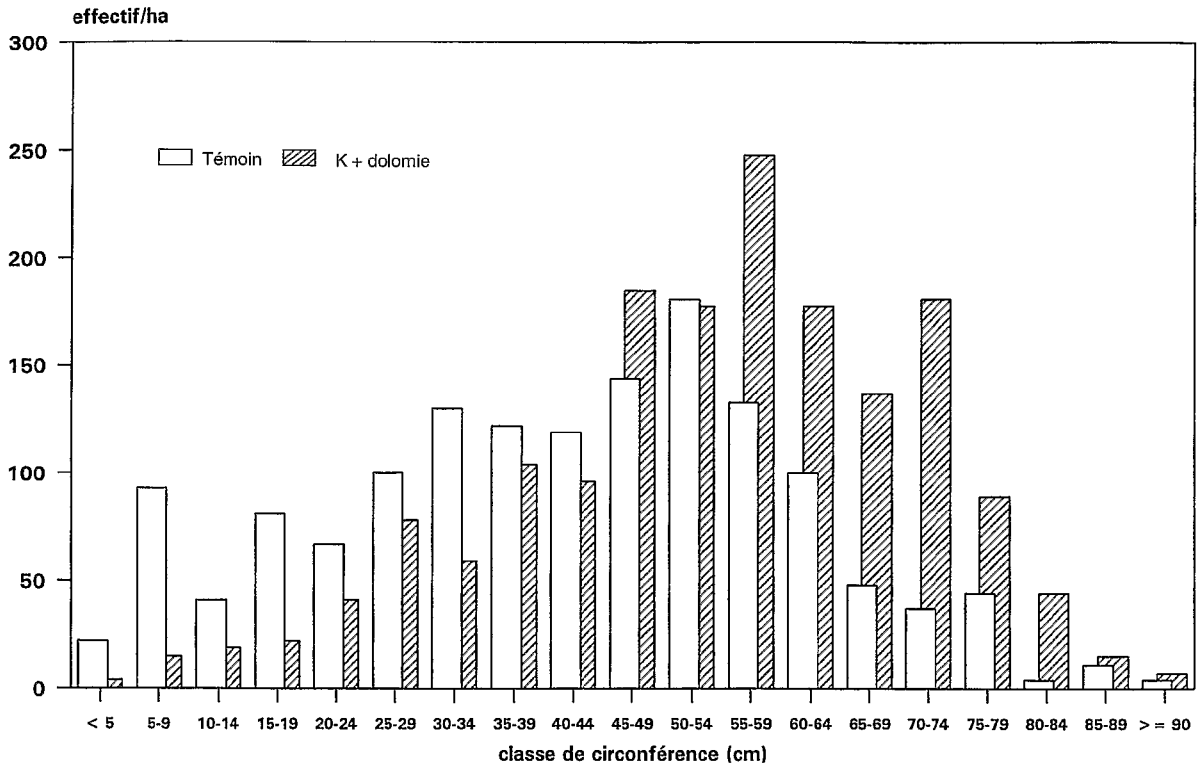


Figure 3. Distribution des tiges par classe de circonférence des traitements-témoins et fertilisation potasse + dolomie (ensemble des tiges des 4 blocs d'un essai situé sur un ancien terrain de culture).



ÉTUDE ÉCONOMIQUE

Le tableau III montre que, en prenant le cas des meilleurs sols :

- la meilleure rentabilité (valeur actualisée formée) est obtenue avec la fertilisation P + dolomie sans préparation mécanisée du terrain,
- la fertilisation PK associée à un sous-solage billonage conduit au plus mauvais résultat économique,
- le bénéfice moyen annuel est maximal pour une durée de révolution d'environ 15 ans, soit 3-4 ans après l'accroissement moyen maximal en volume total.

CONCLUSION DISCUSSION

Les résultats précédents démontrent que la fertilisation doit être adaptée à chaque type de station et qu'il est possible de se passer d'une préparation mécanisée du terrain. Mais

beaucoup de points restent encore à éclaircir.

□ La fertilisation à la plantation recommandée aujourd'hui n'est pas forcément la meilleure. On manque, par exemple, d'essais d'équilibre ou de doses pour fixer des rapports optimaux entre éléments fertilisants.

□ Les expérimentations mises en place ne permettent pas de se prononcer sur la formule à adopter pour entretenir la fertilité des sols. Les essais de refertilisation en cours de révolution n'ont toujours testé que deux types de fumures (PK ou NPK).

□ On connaît mal le mode d'action des engrais et l'évolution des besoins nutritifs de la plante, sujet dont l'intérêt dépasse le simple cas de *Pinus kesiya* à Madagascar. Par exemple, dans le cas des savanes naturelles :

- le phosphore est l'élément essentiel de la fumure de départ mais c'est la potasse qui le devient dans le cas d'une fertilisation de rattrapage,

- il existe des facteurs limitants non identifiés à l'action du phosphore,

- la plupart des interactions entre facteurs (éléments minéraux, travail du sol) deviennent très vite négatives,

- le déterminisme de la rémanence de l'engrais n'est pas connu.

□ A un moment où l'une des priorités mondiales est de mettre au point des modèles de développement durable, il est impératif d'établir un bilan minéral des plantations en fin de première révolution afin de mesurer les conséquences, positives ou négatives, des pratiques sylvicoles adoptées sur la fertilité des sols. □

▷ Laurent SCHMITT
Jean-Pierre BOUILLET
CIRAD-Forêt
B.P. 745

ANTANANARIVO (Madagascar)

▷ Tsoa RAFALY
D.R.F.P./FORIFA
B.P. 904

ANTANANARIVO (Madagascar)

TABLEAU III

VALEUR ACTUALISÉE FORMÉE PAR AN, EN MOYENNE DEPUIS LE DÉBUT DE LA PLANTATION POUR DIFFÉRENTS SCÉNARIOS SYLVICOLES SUR SAVANE NATURELLE

Calculs au 1.6.94 sur les bases d'un taux d'actualisation de 5 % et de 350 FMG = 1 FF

Date (ans)	13	14	15	16	17
Scénario n° 1 : trouaison (Investissement initial = 190 000 FMG)					
Bois fort sur pied (m ³ /ha)	136,9	152,2	167,0	181,0	194,4
Valeur ajoutée actualisée (FMG/ha/an)	14 700	15 255	15 450	15 330	15 015
Scénario n° 2 : trouaison fumure P + dolomie (Investissement initial = 325 000 FMG)					
Bois fort sur pied (m ³ /ha)*	229,0	250,4	270,6	289,6	307,5
Valeur ajoutée actualisée (FMG/ha/an)	24 050	24 135	23 890	23 220	22 315
Scénario n° 3 : sous-solage billonage fumure PK (Investissement initial = 535 000 FMG)					
Bois fort sur pied (m ³ /ha)	229,0	250,4	270,6	289,6	307,5
Valeur ajoutée actualisée (FMG/ha/an)	7 890	9 210	9 890	10 095	9 960

* Production estimée : équivalente à celle du scénario n° 3.





REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ARMITAGE (F. B.), BURLEY (J.), 1980.
Pinus kesiya. Commonwealth Forestry Institute, Tropical Forestry Papers n° 9, 199 p.
- BAILLY (C.), BENOIT DE COIGNAC, MALVOS (C.), 1971.
 Essais sur *Pinus patula* à la Matsiatra. Note C.T.F.T./Madagascar n° 195, 65 p.
- GROS (A.), 1979.
 Engrais. Guide pratique de la fertilisation. Paris, France, la Maison Rustique, 370 p.
- IRAT, 1967.
 Actes du Colloque sur la fertilité des sols tropicaux. Tananarive, Madagascar, 19-25 novembre, tome I, 1 254 p.
- MALVOS (C.), 1980.
 Rôle du potassium et du phosphore sur la croissance des reboisements de *Pinus kesiya* à Madagascar. Université de Nancy I, 134 p. Thèse de docteur ingénieur.
- NGUYEN (K.), 1966.
 Les forêts de *Pinus kesiya* et de *Pinus merkusii* du Centre-Vietnam. Etude de la dynamique des sols en liaison avec celle de la végétation. Annales des Sciences Forestières, tome XXIII, fascicule 2, p. 213-372.

RÉSUMÉ

LA FERTILISATION DES PLANTATIONS INDUSTRIELLES DE *PINUS KESIYA* À MADAGASCAR

Cette communication traite des facteurs stationnels et culturaux (fertilisation et travail du sol) qui conditionnent la réussite d'une plantation industrielle de *Pinus kesiya* dans le bassin du Mangoro à Madagascar. Une analyse préalable montre l'influence de la topographie et de l'antécédent cultural sur l'aptitude au boisement des différents types de sols ferrallitiques présents dans la région. Il n'est pas souhaitable de rechercher la croissance juvénile la plus forte qu'on obtient après travail du sol et apport localisé d'engrais phospho-potassique. L'avantage revient à un système cultural simplifié consistant à se passer de labours et à n'apporter que l'élément minéral le plus limitant : le potassium pour les anciennes terres agricoles, le phosphore pour les savanes naturelles. Beaucoup de sujets dont l'intérêt dépasse le simple cas de *Pinus kesiya* à Madagascar restent encore à étudier, tels le mode d'action des engrais, l'évolution des besoins nutritifs de la plante et l'impact des pratiques sylvicoles adoptées sur la fertilité.

Mots-clés : Fertilisation. Croissance. Plantation forestière. Facteur lié au site. *Pinus kesiya*. Madagascar.

ABSTRACT

THE FERTILIZATION OF INDUSTRIAL *PINUS KESIYA* PLANTATIONS IN MADAGASCAR

This study concerns the effects of land fertilization and preparation on the success of *Pinus kesiya* plantations in Madagascar (Mangoro basin). A preliminary analysis shows the influence of topography and cultural antecedence on the suitability for afforestation of the different types of ferrallitic soils in the region. There is no point in going after the strongest form of juvenile growth, which is obtained after working the land, with localized input of phospho-potassic fertilizer. The advantage lies in a simplified farming system consisting in bypassing ploughing and only adding the most limiting mineral element : potassium for cold croplands, phosphorus for natural savanna. Many topics, which extend beyond the individual case of *Pinus kesiya* in Madagascar, still remain to be studied. One such is the way fertilizer functions. Others include the development of the plant's nutritive requirements, and the impact of the silvicultural methods adopted on fertility.

Key words : Fertilizer application. Growth. Forest plantations. Site factors. *Pinus kesiya*. Madagascar.

RESUMEN

LA FERTILIZACIÓN DE LAS PLANTACIONES INDUSTRIALES DE *PINUS KESIYA* EN MADAGASCAR

Se estudia en este artículo la influencia de la fertilización y de la preparación del terreno con respecto al logro de las plantaciones de *Pinus kesiya* en Madagascar (cuenca del Mangoro). Un análisis preliminar viene a demostrar la influencia de la topografía y del antecedente cultural sobre la aptitud para la plantación de bosques de diferentes tipos de suelos ferralíticos existentes en esta región. No parece deseable tratar de conseguir el crecimiento juvenil más acusado que se obtiene tras labores del suelo y aportación localizada de fertilizantes fosfo-potásicos. Por ello, presenta mayores ventajas un sistema de cultivo simplificado que consiste en prescindir de labores y aportar únicamente el elemento mineral más limitante : el potasio para las antiguas tierras agrícolas, el fósforo para las sabanas naturales. Son muchos los temas cuyo interés sobrepasa el simple caso de *Pinus kesiya* de Madagascar que aún quedan por estudiar, por ejemplo, el modo de acción de los fertilizantes, la evolución de las necesidades nutritivas de la planta y el impacto de las prácticas silvícolas adoptadas acerca de la fertilidad.

Palabras clave : Aplicación de abonos. Crecimiento. Plantación forestal. Características del sitio. *Pinus kesiya*. Madagascar.



THE FERTILIZATION OF *PINUS KESIYA* IN MADAGASCAR

In Madagascar, in the Mangoro basin, the 80,000 hectares planted with tropical pines, of which 50,000 contain *Pinus kesiya*, offer a good illustration of the advantages of reforestation using fast-growing species for improving the economy of developing countries. Since the forest was created in 1969, forestry research projects have involved some sixty trials with *Pinus kesiya*, aimed for the most part at defining the practical methods of a silvicultural system for the intensive production of short rotation (≈ 15 years) timber for pulp. Experiments have focused on stand fertilization. In effect, previous experiments on *Pinus patula* showed up the need, in the Highlands of Madagascar, to rectify the fertility of soils earmarked for reforestation (BAILLY *et al.*, 1971). Furthermore, although *Pinus kesiya* has a reputation for frugality (NGUYEN, 1966), the sparse references for this species showed that its fertilization could well be vital: input of NP in the Philippines, and boron in Brazil, Malaysia and Zambia (ARMITAGE *et al.*, 1980).

The results have quickly given rise to programmes being recommended, which combine mechanized preparation of the terrain and the input of phospho-potassic manure in the planting hole (MALVOS, 1980). But a recent assessment of the experiments raises questions about the merits of such operations.

DESCRIPTION OF THE SITE

The region in question is part of the Highlands (Haut Plateaux). The altitude is around 950 m. The climate is medium altitude tropical with eastern influences (average annual temperature and rainfall: ≈ 20 °C and $\approx 1,500$ mm). The results presented here come from trials carried out on lateritic-type soils developed from various materials which are on the whole desaturated and deficient in phosphorus. The first of the three stations where the experiments were carried out is situated on hillsides formed on migmatites, where the thickness of the humus-bearing horizon and the level of organic matter are low (dominant height at 5-year-old = $Ho_5 = 2.7$ m). The two others form relatively flat areas (plateaus and terraces), on alluvia, where it is possible to make out old farmlands ($Ho_5 = 3.5$ m) in the natural savanna ($Ho_5 = 5.5$ m). The morphology of the terrain and the farming history of the place appear in fact to be decisive criteria for the soil typology.

RESULTS

Throughout this article the following symbols will be used: H = average height, G = total basal area. The results will focus on H for the installation phase of the stands, and on G for the later period.

Planting density varies from 1,600 to 2,000 seedlings/ha.

SOIL WORKING TESTS

The aim of these experiments was to try out various cultivation methods, with or without the addition of PK manure and dolomite: hole-digging by hand, subsoiling (to 40 cm), baulking, subsoiling and baulking, and strip ploughing. The results of the most comprehensive experiment show that the addition of fertilizer alone has a significant effect, whatever the criterion considered (H at 4.5 years, or G at 10 years). Although the fertilizer application \times soil working interaction is not significant, its value seems sufficiently marked for treatment with and without fertilizer application to be analysed separately. We thus find (cf. Table 1, p. 54):

□ **The effectiveness of ploughing without fertilizer application.** The three operations including turning over the surface horizons are the only ones with a beneficial effect on the average height at 4.5 years. At 10 years, only strip ploughing gives a basal area production that is significantly higher than the control (+ 4.8 sq.m./ha).

□ **The ineffectiveness of soil working without fertilizer application.** No distinction can be made bet-

TABLE 1. Soil working experiment. Effects of treatments on the average height at 4.5 years ($H_{4.5}$ in m) and production by total basal area at 10 years (G_{10} in sq.m/ha).

Without fertilizer		With fertilizer (PK + dolomite)					
$H_{4.5}$	G_{10}	$H_{4.5}$	G_{10}				
T :	1.4	T	10.2	B	3.5	B	23.2
SS	1.6	S	12.2	Lb	3.6	SSB	24.8
Lb	2.1	B	13.0	T	3.7	SS	25.3
B	2.3	SSB	13.8	SS	3.8	T	26.0
SSB	2.4	Lb	15.0	SSB	3.9	Lb	26.2

= significance at 5 % threshold.
 T : manual hole-digging (control).
 SS : subsoiling.
 B : baulking.
 SSB : subsoiling and baulking.
 Lb : strip ploughing.

ween the different cultivation methods. At the end of the installation period, subsoiling with baulking offers a slight advantage over the

other techniques, but the basal area table is enough to show that soil working is of no use when fertilizer is applied before planting.

FERTILIZER APPLICATION EXPERIMENTS

Fertilizer application at planting

Table 2 shows the main results of these experiments aimed at defining, by station, the type of input to be applied at planting.

□ **Fertilizer application on hillsides.** The slopes are characterized by particularly severe soil conditions, which lead to a very low stand growth rate and crown die-back associated with zinc deficiency. As a result of this, it is necessary to apply the most complete kind of rectifying manure possible : N, P, K, Zn. At seven years, this gives a noticeable gain in a basal area of 17.6 sq.m./ha (+ 500 % as compared with the control), and leads to a production comparable to that of the control stands on the best soils. It should be noted that NPK (5-30-24 g/seed-

TABLE 2. Results of fertilizer application experiments at planting : average height (H in m) and total basal area (G in sq.m/ha) at different ages (in years).

Station	Test	Age	Variable	Control	Best treatment
Slopes	(manures (P, PK, NPK) × nutramine*)	4	H	1.9	N₅P₃₀K₂₄ + nut₁₂ 4.2
		7	G	3.5	N₅P₃₀K₂₄ + nut₁₂ 21.1
Old croplands	factorial (Ca + Mg)PK	4.5	H	2.6	K₂₄ + P 5.2
		10	G	16.2	K₂₄ + (Ca + Mg) 33.1
	factorial NPK	4.5	H	3.6	K₂₄ + P 5.8
		10	G	17.6	K₂₄ 25.8
Natural savanna	factorial (ca + Mg)PK	4.5	H	4.3	P₃₈ + K 5.7
		10	G	29.6	P₃₈ + (Ca + Mg) 36.6
	factorial NPK	4.5	H	3.6	P₅₃ + K 5.3
		10	G	30.8	P₅₃ + K 38.9

The elements in bold are the most effective. Their index signifies the amount added (g/seedling).

* Another experiment has shown that zinc was the only active trace element.

ling) is a limiting factor to the same degree as zinc (0.6 g/seedling). The types of input are already active when they are applied on their own (cf. Fig. 1), and their association gives rise to a positive interaction.

□ **Fertilizer application on plateaus and terraces.** Four experiments help to study the effects of the elements N, P, K, Ca and Mg, either alone or associated.

□ **Installation phase**

Reactions to applications of potassium and phosphorus are much more marked and frequent than those obtained with nitrogen, and a calco-magnesium soil amendment. The analysis of the average height in the fifth vegetative season shows that the only significant effects are those of potassium (24 g of K_2O /seedling) and phosphorus (38 or 53 g of P_2O_5 /seedling, depending on the experiment). Furthermore, there is no marked $P \times K$ interaction. Phospho-potassic manure is thus more active, but the fundamental role is played by potassium for land that is poor in this element because of previous farming (manioc or groundnuts), and by phosphorus in natural savanna.

□ **Later period**

– **P and K action :** The action of these elements does not extend beyond 5-7 years. Any observed additional growth in the basal area is not due to the direct effect of the manuring, but to a more developed generating material, for foliage and roots alike. Because not all the amounts of P_2O_5 and K_2O_5 were consumed, mention can be made of classic phenomena of phosphorus retrogression to not very assimilable forms, and of potassium loss by leaching, for lack of any adequate absorbant complex (GROS, 1979 ; IRAT, 1967).

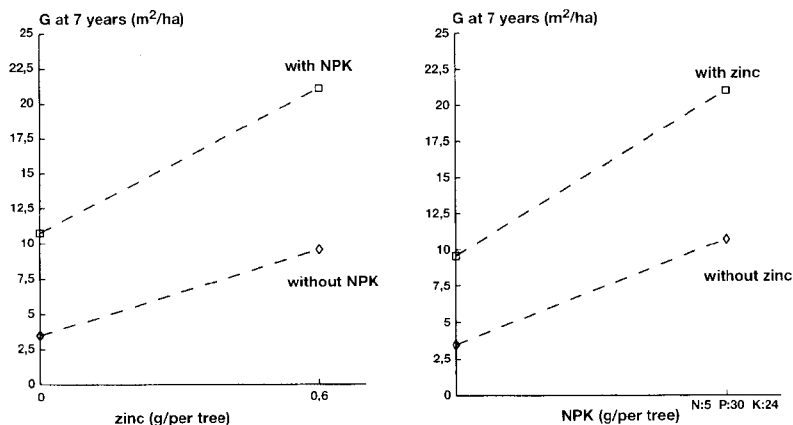


Figure 1. Diagram showing NPK \times zinc interaction observed on hillsides.

– **$P \times K$ interaction :** The joint use of phosphorus and potassium rarely seems favourable in the Mangoro basin. In three experiments out of four, the addition of the most limiting element turns out to be as effective as the PK association, due to a negative interaction (cf. Fig. 2). The additivity of the effects can in fact only be observed in an experiment set up without ploughing. It would seem that with a PK fertilizer application, working the soil permits better root development, and brings about a swift depletion of the elements avail-

able, in particular those originating from the accelerated mineralization of the organic matter. So the negative $P \times K$ interaction is probably explained by the appearance of a limiting factor, which remains to be identified.

– **Crown dieback :** Zinc deficiencies may occur in the best soils. The frequency of crown dieback is then linked to the type of farming system adopted. Dieback symptoms are much more frequent, on the one hand, on mechanically worked soil,

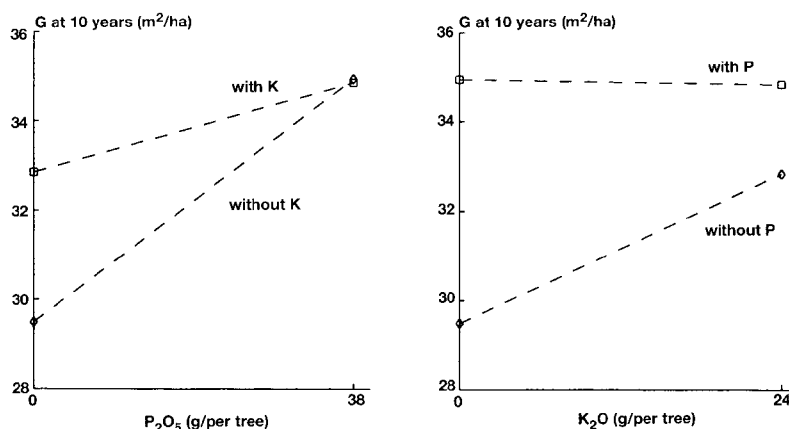


Figure 2. Diagram showing $P \times K$ interaction observed in natural savanna.

and on the other after the input of potassic fertilizer in the planting hole. Conversely, the application of phosphated fertilizer has a beneficial effect when applied on its own, but does not manage to compensate completely for the negative influence of the potassium when the two types of manure are combined.

• **Recommended formula**

The input at planting of the most limiting element may be recommended : K for old croplands, P for natural savanna. The recommended doses are then 25-30 g of K_2O /seedling and 40-50 g of P_2O_5 /seedling. The best production seems to be obtained with an addi-

tional calco-magnesium amendment (150 g of dolomite/ seedling).

Compensatory fertilizer application

For flat areas, the effectiveness of ploughing without fertilizer application, plus the negative interaction between working the soil and PK manuring, raise the question of the timeliness of dissociating the two operations in time. Few experiments offer any answer to this, but the few results obtained show :

- no effect from the phosphorus, unlike what is observed for the initial fertilizer application,

- the significant effect of an input of potassium (24 g of K_2O / seedling) to healthy 4.5-year-old plantations established on land that has been worked or not. It would seem that, at the end of the rotation, a production similar to that given by initial phosphated manuring can be expected.

Stand homogenization

In addition to a gain in average growth, fertilizer application contributes to more homogeneous stands, which are thus of greater interest for paper manufacturing. An example of this phenomenon is shown in figure 3 ; on old croplands, the distribution of stems by

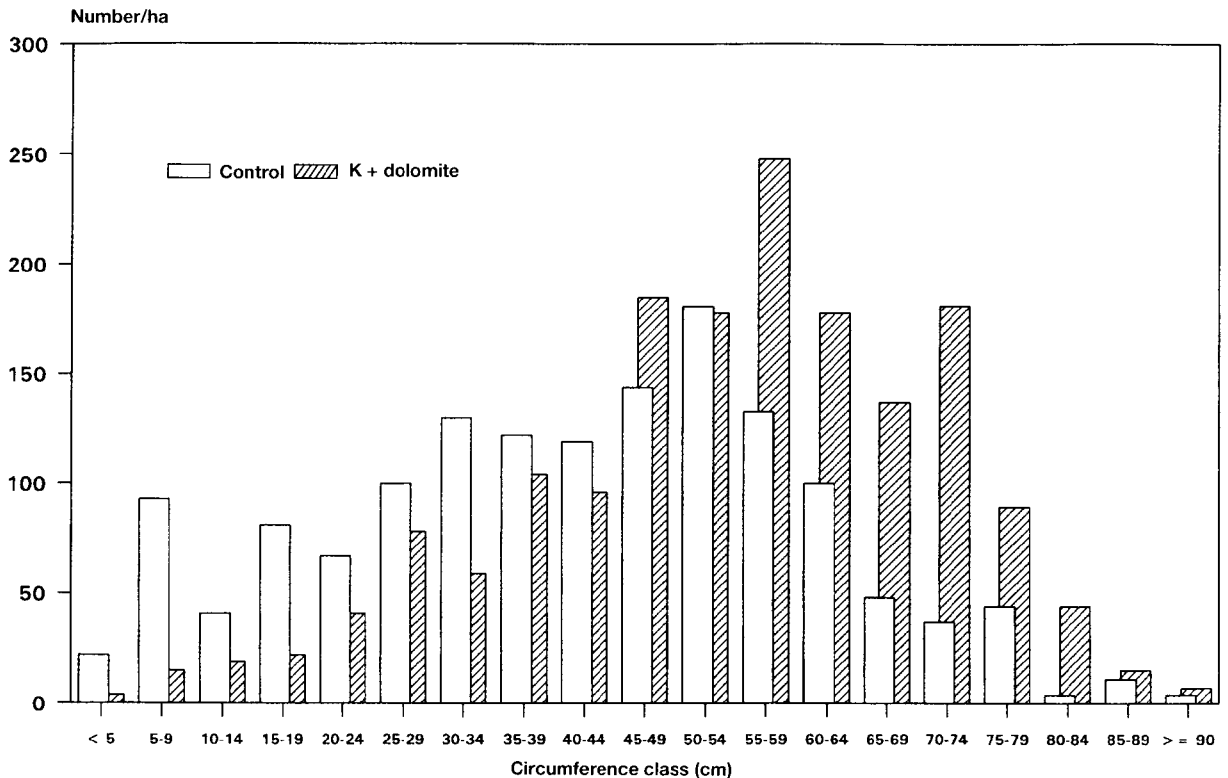


Figure 3. Distribution of stems by circumference class of control and potassium fertilization (all the stems of the four blocks of a trial situated on an old cropland taken into account).

circumference class is significantly different, at a 1 % threshold [$\chi^2 = 387$], between the control and a K + dolomite fertilizer application. This latter treatment then gives a variation coefficient on the average circumference of 31.0 % as compared with 45.1 %.

ECONOMIC STUDY

Table 3 shows that, using the example of the best soils :

- the highest profitability (formed present value per annum) is obtained with the application of P + dolomite fertilizer without mechanized preparation of the ground,
- PK fertilizer application combined with subsoiling and baulking gives the worst economic result,
- the average annual profit is maximal for a rotation period of about 15 years, that is 3-4 years after maximal average growth in total volume.

CONCLUSION DISCUSSION

The above results show that fertilizer application must be appropriate for each type of station, and that it is possible to bypass mechanized ground preparation. But many points still need explaining.

□ Fertilizer application at planting, as recommended today, is not necessarily the best. There are not enough equilibrium experiments, for example, or enough doses to fix the optimum ratios between fertilizing elements.

□ The experiments set up do not make it possible to say anything definite about the formula to be adopted to maintain soil fertility. Refertilization tests during rotation have only ever tested two types of manure (PK and NPK).

□ We do not know nearly enough about the way fertilizers work and about the development of the plant's nutritive requirements. This is a topic whose relevance goes well beyond just the case of *Pinus kesiya* in Madagascar. For example, in natural savanna :

- phosphorus is the essential element of the initial manure, but it is potassium which takes on this role in the case of compensatory fertilization ;

- there are unidentified factors limiting the action of phosphorus ;

- most of the interactions between factors (mineral elements, working the soil) become negative very quickly ;

- determinism of fertilizer persistence is unknown.

At a time when one of the world-wide priorities is the development and improvement of sustainable development models, it is vital to draw up a mineral appraisal of plantations at the end of the first rotation, in order to measure the consequences for soil fertility, positive and negative alike, of the silvicultural methods used. □

For bibliography, see the French version.

TABLE 3. Formed present value per annum, on average since the start of planting, for different silvicultural scenarios in natural savanna.

Calculations as of 01/06/1994 on the bases of a 5 % rate of present value and with 350 FMG = 1 FF.

Date (years)	13	14	15	16	17
SCENARIO N° 1 : HOLE-DIGGING (initial investment = 190,000 FMG)					
Standing large wood (cu.m/ha)	136.9	152.2	167.0	181.0	194.4
Present value added (FMG/ha/year)	14,700	15,255	15,450	15,330	15,015
SCENARIO N° 2 : HOLE-DIGGING MANURE P + dolomite (initial investment = 325,000 FMG)					
Standing large wood (cu.m/ha)*	229.0	250.4	270.6	289.6	307.5
Present value added (FMG/ha/year)	24,050	24,135	23,890	23,220	22,315
SCENARIO N° 3 : SUBSOILING BAULKING PK MANURE (initial investment = 535,000 FMG)					
Standing large wood (cu.m/ha)	229.0	250.4	270.6	289.6	307.5
Present value added (FMG/ha/year)	7,890	9,210	9,890	10,095	9,960

* Estimated production : equivalent to that of scenario n° 3.



UN LABORATOIRE DE SOCIO-ÉCONOMIE AU CIRAD-Forêt

Ce laboratoire a été créé au sein du CIRAD-Forêt pour étudier les interactions « Nature-Sociétés » à propos des espaces forestiers.

Il mène des actions d'expertise, de formation, de recherche et travaille étroitement avec les Programmes et Unités de recherche du CIRAD-Forêt ainsi que dans des secteurs autres que la forêt tropicale (élevage et pastoralisme, systèmes agraires) avec les autres Départements du CIRAD.

Les cinq chercheurs qui composent ce laboratoire : Didier BABIN, Alain BERTRAND, Philippe GUIZOL, Alain KARSENTY et Pierre MONTAGNE font partie de l'Unité de recherche GREEN* du CIRAD et sont très impliqués dans des Organismes tels que : IUFRO, IASP et APREFA**.

* Gestion des Ressources Renouvelables, Environnement.

** International Union of Forestry Research Organisations.

International Association for the Study of Common Projects.

Association pour la Promotion des Recherches et Études Foncières en Afrique.

LE LABORATOIRE D'ANATOMIE DES BOIS DU CIRAD-Forêt PRÉSENTE SES NOUVEAUX TARIFS

Ce laboratoire, qui se trouve maintenant à Montpellier, vend des échantillons de bois tropicaux sous forme de plaquettes ; il effectue aussi des identifica-

tions de bois tropicaux à la demande.

Voici les tarifs pour 1995 :

- **Prix de vente d'échantillons**
 - Plaquettes 13 cm x 16 cm x 1 cm : 17,123 F HT l'unité
soit 20 F TTC
(commande d'au moins 10 échantillons)

- **Identification**
 - Echantillon de provenance ou de nom d'origine connu : 420,00 F HT
soit 498,12 F TTC
 - Echantillon sans indication d'origine ou de nom : 840,00 F HT
soit 996,24 F TTC

- Supplément possible pour échantillon mince ou placage : de 150 F HT à 300 F HT

- **Détection d'aubier dans les bois de feuillus tropicaux**
 - Selon taille et longueur radiale : de 200 F HT à 300 F HT

Laboratoire d'Anatomie des Boies du CIRAD-Forêt
Maison de la Technologie
73, rue Jean-François Breton
34032 MONTPELLIER CEDEX 01
Tél. : 67 61 58 00
Télécopie : 67 61 57 25

UN FILM SUR LA FORÊT GABONAISE PRODUIT PAR L'O.A.B.

Dans le cadre d'un projet global intitulé « Promotion de la forêt africaine », le secrétariat général de l'Organisation Africaine des Bois a réalisé un documentaire sur la forêt au Gabon, qui porte sur les utilisations traditionnelles de la forêt et de ses produits par les populations rurales, l'explo-

tation forestière, la politique forestière, les projets et les institutions. Ce même type de film sera réalisé pour chacun des pays membres de l'O.A.B. afin d'informer les populations africaines et européennes sur les problèmes posés par la gestion durable des forêts tropicales et l'utilisation optimale de leurs produits.

Ce film est disponible sous forme de cassette-vidéo (V.H.S.-SECAM pour la version française, V.H.S.-PAL pour la version anglaise).

Prix France : 200 F TTC (+ port 18 F)
Prix Etranger : 210 F (+ port 32 F)

Renseignements et commandes :

CIRAD-Forêt
Service Publications
45 bis, avenue de la Belle-Gabrielle
94736 NOGENT-SUR-MARNE CEDEX (France)
Tél. : 43 94 43 79
Télécopie : 43 94 43 81

UNE VIDÉO-CASSETTE SUR LA FORÊT, LES SAVOIRS ET LE CITOYEN

Cette cassette reprend quelques communications du colloque européen organisé à Montceau - Le Creusot sur ce thème.

Les interventions d'historiens, d'économistes, de forestiers, de sociologues, d'ethnologues, d'artistes et d'écrivains permettent d'avoir une vue synthétique de cette réalité complexe et tentent d'apporter des réponses aux questions que tout citoyen se pose sur ses forêts et les forêts dans le monde.

Renseignements et commandes :
ÉDITIONS A.N.C.R.
71324 CHALON-SUR-SAÔNE CEDEX
Tél. 85 48 54 26
Télécopie : 85 48 54 66

PROFESSIONS BOIS-CONSTRUCTION

Le 5 janvier 1995, les Organisations professionnelles* du secteur Bois-Construction ont signé un protocole d'accord, finalisant leur regroupement au sein d'un même espace « Professions Bois-Construction ».

Ce protocole traduit non seulement leur volonté de mettre en commun leurs compétences et leurs moyens, mais également de s'associer dans l'Institut de Recherches Appliquées au Bois (IRABOIS) pour y développer, avec d'autres partenaires, des actions techniques et de recherches.

C'est Dominique MILLEREUX qui a été nommé récemment Directeur de cet institut, dont l'une des missions essentielles est d'aider la profession à développer ses marchés

* Ces organisations professionnelles sont au nombre de cinq : Union Nationale Française de Charpente, Menuiserie, Parquets (UNFCMP), Chambre Professionnelle Menuiserie Agencement Parquets de la Région Parisienne, Institut de Recherches Appliquées au Bois (IRABOIS), Syndicat National des Constructeurs de Charpentes en Bois Lamellé-Collé (S.N.C.C. B.L.C.), Association des Entreprises Françaises de Construction Bois (AFCOBOIS), Chambre Professionnelle des Charpentiers Bois.

IRABOIS
10, rue du Débarcadère
75852 PARIS CEDEX 17
Tél. : (1) 40 55 14 70
Télécopie : (1) 40 55 14 65