



Entretien des plantations.

Photo Hueber.

LES EXPÉRIMENTATIONS SUR LES PEUPLIERS AU MANGORO

(Madagascar)

Claude BAILLY, Guy BENOIT de COIGNAC, Claude MALVOS (1)

SUMMARY

EXPERIMENTS ON POPLARS IN MANGORO (MADAGASCAR)

*The plantation of poplars over an area of 3,750 acres to supply a veneer-peeling industry (more especially matches) was undertaken in 1969 by the Malgache Forestry Department. The plantation programme provides for the planting of 250 acres of *Populus Deltoides Carolinensis* March each year.*

In 1968 the Centre Technique Forestier Tropical was asked to define firstly the areas likely to produce poplars in the Moramanga region, to take stock of existing knowledge and the possibility of applying it in Madagascar, and to set up the necessary experiments.

(1) *Ingénieurs de Recherche au C. T. F. T., Madagascar*

Less than five years ago, the cultivation of poplars was unknown in Madagascar. Only a few poplars planted in gardens or alongside roads and canals in the high plateaux showed that this species was well adapted. Obviously, after four years of experimentation it would be presumptuous to attempt to draw definitive conclusions ; but the initial results obtained make it possible to establish the broad lines of the plantations techniques employed, to specify the points on which further research is necessary, and to hope for an increasingly precise definition of poplar cultivation in Madagascar in the near future.

This article, after describing the climatic conditions of the Moramanga region, reviews the agrological conditions favourable to poplars (mineral and organic fertility and physical properties of the soil) which served as a basis for the demarkation of the zones reserved for poplar plantation. The experiments conducted by the C. T. F. T. are then dealt with.

These experiments were carried out either in nurseries or in plantations, and relate to the following points :

Dates and circumstances of plantation.

Humidity and working of the soil.

Fertilization :

— NPK-Dolomite factorial tests ;

— NPK doses ;

— Practical make-up doses ;

— Study of deficiencies ;

— Complementary fertilization.

Density of plantation.

Origin and conduct of stocks.

Introduction of new poplars (other clones).

RESUMEN

EXPERIMENTOS LLEVADOS A CABO ACERCA DEL ALAMO EN MANGURU (MADAGASCAR)

La realización de una plantación de álamos en una extensión de 1.500 hectáreas ha sido emprendida en 1969 por la Jefatura de Aguas y montes de Madagascar, con objeto de alimentar una industria de desarrollo (y particularmente de fósforos). El programa de plantaciones tiene el propósito de alcanzar un ritmo de plantación de 100 ha de *Populus deltoides Carolinensis* March, anualmente.

El Centro Técnico Forestal Tropical ha sido consultado a partir de 1968 para definir, en primer lugar, los terrenos susceptibles de permitir el crecimiento de álamos en la región de Moramanga, indicar el estado actual de los conocimientos existentes en la materia y sus posibilidades de aplicación en Madagascar y, en segundo lugar, proceder a los experimentos necesarios a tal efecto.

Hace menos de cinco años, el cultivo del álamo era desconocido en Madagascar, y únicamente algunos álamos plantados en los jardines o alineados al borde de las carreteras y de los canales en las altas mesetas permitían demostrar que esta especie se aclimataba bien en la isla. Parece perfectamente evidente que, transcurridos cuatro años de experimentos, parecería presuntuoso tratar de sacar de estos ensayos conclusiones definitivas, pero los primeros resultados obtenidos permiten orientar las técnicas de plantación utilizadas, precisar los puntos hacia los cuales se manifiestan necesarias las investigaciones complementarias y esperar que, dentro de un lapso determinado, pueda procederse a una definición más precisa de la silvicultura del álamo en Madagascar.

Después de haber señalado las características climáticas de la región de Moramanga, son recordadas en este estudio las características agrológicas favorables para el álamo (fertilidad mineral y orgánica y propiedades físicas de los suelos) que han servido de fundamento para la definición de las zonas reservadas a plantaciones de álamos. Finalmente, se indica el estado actual de los experimentos llevados a cabo por parte del Centro Técnico Forestal Tropical de Francia.

Estos experimentos han sido efectuados, ya sea en viveros o bien en plantación, y se refieren a los puntos siguientes :

Fechas y modalidades de plantación.

Trabajo del suelo y humedad.

Fertilización :

— Ensayos factoriales NPK-Dolomía ;

— Dosis de NPK ;

— Dosis prácticas de aportación ;

— Estudio de las carencias ;

— Fertilización complementaria.

Densidad de plantación.

Origen y comportamiento de las plantas.

Introducción de nuevas clones.

La Direction des Eaux et Forêts Malgache a entrepris, dans le cadre des Grandes Opérations de Reboisement Industriel, la réalisation d'une plantation de Peupliers sur 1.500 ha en vue d'alimenter l'industrie du déroulage et plus spécialement l'usine d'allumettes de la Société nationale des Allumettes installée à Moramanga.

S'il existait bien quelques peupliers plantés en alignement le long des digues ou des routes sur les hauts-plateaux et surtout autour de Tananarive

et d'Antsirabe (*Populus deltoides carolinensis* March) il n'y avait jamais eu, avant le démarrage de l'opération, de plantation en grand.

L'opération devant démarrer en 1969, le Centre Technique Forestier Tropical a été sollicité dès 1968, de définir les terrains susceptibles de porter des peupliers dans la région de Moramanga, de faire le point des connaissances existantes et de leurs possibilités d'application à Madagascar puis de mettre en place les expérimentations nécessaires.

Dans un premier temps, une étude bibliographique a permis de définir les caractéristiques physiques et chimiques des sols les plus favorables à la culture du peuplier, et de déterminer quels étaient les sols susceptibles, *a priori*, d'être réservés à la culture du peuplier dans cette région.

Des expérimentations sur les techniques d'élevage des plants en pépinière puis sur les possibilités et les modalités de plantation ont été ensuite entreprises sur le périmètre reconnu afin de préciser de mieux en mieux les règles de la populiculture à Madagascar.

CARACTÉRISTIQUES CLIMATIQUES

La région intéressée est située à environ 100 km à l'est de Tananarive dans la dépression fluvio-lacustre lac Alaotra-Mangoro. Le climat est de type tropical d'altitude (environ 900 m). La pluviométrie avoisine 1.500 mm par an avec 5 à 6 mois inférieurs à 50 mm. Durant la saison sèche, il y a souvent des crachins et des brouillards matinaux, cela explique le fait que l'humidité relative à 7 heures est toujours très élevée même en octobre, mois le plus sec, où à midi elle descend à 50 %.

Les vents dominants sont du sud et surtout du sud-est avec un cycle journalier très sensible (10 à 15 km/h de jour, 5 km/h la nuit). Ils sont fréquents en fin de saison sèche.

Les chutes de grêle peuvent être fréquentes et violentes durant toute la saison des pluies. La température moyenne est de 19° environ avec un maximum enregistré de 33° et un minimum de 4° ce qui exclut les risques de gelée. Les moyennes mensuelles des minima oscillent entre 10 et 17° au cours de l'année et celles des maxima entre 20 et 28°.

L'évaporation annuelle (Piche) observée sur peu d'années s'élève à environ 500 mm, l'évaporation mensuelle avoisine 30 mm pour les mois froids de mai à août, 40-50 mm pour les mois de février, mars, avril et septembre, et 50-60 mm pour les mois chauds d'octobre à janvier.

Les sols de la région sont des sols ferrallitiques plus ou moins lessivés formés sur socle ancien ou alluvions anciennes ou des sols d'alluvions fluvio-lacustres plus récents. Nous en reparlerons plus en détail.

L'ensemble de ces caractéristiques édaphiques

implique un certain nombre de contraintes en ce qui concerne la culture du peuplier.

Tout d'abord, Madagascar étant dans l'hémisphère austral, les saisons sont inversées par rapport à l'Europe et il se posera donc, lors des introductions des problèmes de changement de cycle végétatif.

De plus, à Madagascar, le peuplier commence à débourrer en août-septembre et la chute des feuilles débute en avril. La saison de végétation y correspond donc à la saison pluvieuse, ce qui n'est en général pas le cas en Europe. Ce point est très important car les terrains susceptibles de porter du peuplier qui seraient inondés pendant la saison des pluies, sont à éliminer car il est bien connu que cet arbre, s'il aime les sols frais, ne supporte pas l'inondation en saison de végétation.

Enfin, la fréquence réelle des chutes de grêle, au début de la saison de végétation, est à prendre en considération car elles peuvent causer des dégâts très importants.

Du point de vue phénologie, les premières observations réalisées ont montré que les plantations de peuplier déboussaient au cours du mois d'août et que les boutures mises en terre en juin ou juillet pouvaient démarrer dès juillet après un trempage de quelques jours dans l'eau courante avant la mise en place en pépinière.

Les plantations semblent arrêter leur croissance en hauteur dès février, voire dès le début du mois de janvier. Les observations ne sont pas assez nombreuses et précises pour déterminer exactement la date d'arrêt de la croissance en circonférence en fonction de l'âge, de la climatologie (saison sèche courte en février et légère croissance ensuite ?) et de la vigueur des plantations.

CARACTÉRISTIQUES AGROLOGIQUES FAVORABLES AUX PEUPLIERS

En ce qui concerne les sols, les trois facteurs essentiels qui conditionnent la réussite des peupliers sont :

- de bonnes qualités physiques et en particulier une bonne aération ;
- une alimentation en eau suffisante sans risques d'asphyxie ;
- une bonne alimentation minérale et une faible acidité.

Ceci est résumé par la formule « le peuplier aime les sols frais, profonds, bien aérés ». Et, en Europe, on sait bien reconnaître les sols favorables à la populiculture qui sont en général des alluvions avec présence d'une nappe phréatique située à un niveau convenable.

Compte tenu des caractéristiques particulières dues à la situation locale, il nous a paru nécessaire, en effectuant la reconnaissance des terrains suscep-

tibles de convenir au peuplier dans la région de Moramanga, de définir des normes moins subjectives et si possible chiffrées afin de pouvoir établir un classement des diverses potentialités des sols vis-à-vis de la populiculture (1).

FERTILITÉ MINÉRALE ET ORGANIQUE

En ce qui concerne les caractéristiques chimiques des sols rencontrés, les analyses effectuées font apparaître une pauvreté minérale quasi générale en éléments fertilisants.

Les spécialistes en populiculture admettent que les sols sont pauvres si la teneur en éléments assimilables est inférieure aux seuils suivants :

- P_2O_5 (Méthode Truog) : 0,15 %.
- K_2O : 0,10 %.
- N (azote total) : 1,5 %.

Nous n'arrivons jamais, sauf parfois en ce qui concerne l'azote, à dépasser ces seuils sur aucun des profils analysés. Il s'ensuit donc qu'il faudra apporter, lors de la plantation, une fumure minérale dont les modalités sont à définir.

En ce qui concerne l'acidité des sols la fourchette de pH admise par les spécialistes de la populiculture varie de 5,5 à 7,5. Les peupliers résistent très difficilement à une acidité très prononcée des sols. Nous avons trouvé dans nos reconnaissances une majorité de sols à pH compris entre 5 et 6 ; il faudra se montrer extrêmement prudent et envisager l'apport d'amendement calcaire tel que la dolomie (produite localement). De même il faudra éviter tout apport de fertilisant qui entraînerait un risque d'acidification (p.e. Sulfate d'ammoniaque).

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES

En ce qui concerne les propriétés physiques des sols, par contre, il n'est pas possible de remédier, la plupart du temps, à des caractéristiques déficientes. Il faut donc, au départ, choisir les sols qui ont les qualités les plus favorables pour la culture du peuplier.

Les facteurs néfastes à une bonne pénétration des racines et par là même à une bonne croissance des peupliers sont :

- une mauvaise porosité ;
- une texture et une structure défavorables ;
- la présence de niveaux de graviers infranchissables aux racines ;
- la présence d'un niveau asphyxié dû à la remontée du plan d'eau.

Par contre, pour bien s'installer, le peuplier exigera une bonne capacité de rétention en eau du profil.

(1) Ce travail a été fait avec la collaboration de M. BOURCHARD pédologue de l'I. R. A. T.

La porosité.

Elle est particulièrement importante pour la culture du peuplier. En effet, l'obstruction des pores peut empêcher les échanges gazeux du sol vers l'atmosphère et réduire d'une manière très notable la croissance des racines, vu l'exigence du peuplier. Nous avons été ainsi amenés à réaliser un assez grand nombre de mesures de la porosité totale soit à l'aide du cylindre métallique classique soit à l'aide du densitomètre à membrane. D'une manière à peu près systématique, les porosités trouvées avec densitomètre à membrane sont supérieures aux résultats du cylindre et une correction a dû être apportée aux résultats.

Nous avons pu rencontrer au niveau de 40 à 50 cm des porosités totales (cylindre) variant de 40 à 60 % ; en dessous de 40 % nous estimons que le sol doit être rejeté pour la culture du peuplier.

Texture. Etat structural.

Les textures les plus favorables sont celles qui présentent un équilibre convenable entre les sables, l'argile et le limon, les sables occupant 50 % du total.

La présence d'argile en quantité trop importante, soit dans les horizons supérieurs soit en lit, est très préjudiciable car elle gêne la pénétration des racines.

Nous pensons qu'une texture comportant plus de 50 % d'argile rencontrée dans des horizons situés à moins de 1,20 m-1,50 m de la surface condamne le sol pour la culture du peuplier.

La structure ou plutôt l'état structural du sol ont été évalués d'après les tests d'instabilité structurale de HENIN (*I_s*) et de perméabilité (*K*). Le coefficient Σ regroupe ces deux indices et caractérise l'état structural. Un sol peut être considéré comme inapte à la culture du peuplier si Σ est inférieur à 1,25.

Eau disponible.

La capacité de rétention qui est la quantité d'eau restant dans un sol qui a été complètement saturé d'eau puis qui s'est ressuyé, est une caractéristique intéressante. Mais l'eau disponible pour les plantes ou plutôt l'eau utile dans les sols du type sableux des terrasses du Mangoro peut être définie comme la différence entre cette capacité de rétention qui correspond à pF : 2,5 et la teneur en eau au point de flétrissement permanent pF : 4,2 (16 atmosphères). Cette eau utile selon BONNEAU a pour valeur approximative par unité de volume :

- pour les sables 7 % ;
- pour les sables limoneux 12 % ;
- pour les limons 20 %.

Nous estimons que parmi les sols rencontrés, ceux dont l'eau utile (pF : 2,5-pF : 4,2) et inférieure à 6 % sont à éliminer.

Présence d'horizon induré ou asphyxiant.

Lors des reconnaissances, nous avons pu rencontrer des sols inondés en saison des pluies ou des sols sableux plus ou moins podzolisés. Un sol présentant une nappe d'eau permanente ou semi-permanente à moins de 80 cm de la surface, nous paraît être impropre à toute mise en culture de peuplier. De même, la présence dans les premiers 120 cm de tout niveau induré (graviers, gravillons, formation d'alias, etc...) fait rejeter le sol.

RÉCAPITULATION

Nous avons été ainsi amenés à définir un certain nombre de critères d'élimination des sols portant sur l'acidité, les caractéristiques physiques (porosité, état structural, eau utile). Dans le même ordre d'idées nous avons, à la lumière des observations réalisées lors des prospections et des renseignements analytiques et bibliographiques, essayé de définir

un système de notation des différents critères afin de pouvoir, le cas échéant, effectuer un choix objectif entre les terrains rencontrés. Ce système n'a qu'une valeur d'ébauche indicative et pourra être amélioré au vu des résultats obtenus par les essais aux champs. Le tableau 1 récapitule l'ensemble de ces critères ainsi que la notation proposée, la notation 0 correspondant à un critère d'élimination du sol.

Ce tableau nous a permis de dresser une carte des sols favorables aux plantations de peupliers pour la région du Mangoro, carte dont la Direction des Eaux et Forêts s'est servie pour réserver dans le périmètre de reboisement en pins, les meilleurs sols à peupliers et inversement pour planter en pins ceux du secteur peupliers qui ne convenaient pas. C'est sur une de ces terrasses sableuses de l'Ankona réservées au peuplier que le C. T. F. T. a installé depuis 1969 près de 20 essais dont nous allons détailler protocoles et résultats dans les chapitres suivants.

TABLEAU 1

Valeur des sols à peupliers du Mangoro

Notation Critère	0 Elimination	1	2	3
Présence d'une nappe phréatique	< 0,80 m	pas de nappe	nappe à 2,50 m	×
Niveau induré ou gravillonnaire	< 1,20 m	quelques gravillons dans le profil y compris les horizons 1,20	aucun	×
Porosité à 50 cm (cylindre)	< 40 %	40 à 45 %	45 à 50 %	> 50 %
Σ de Hénin	< 1,25	1,25-1,50	1,50-1,75	> 1,75
Texture	Al > 50 % ou texture sable grossier	texture grossière LS-SL	texture fine AS-LA	texture moyenne LAS-L
Eau utile (pF 2,5-pF 4,2)	< 6 %	6 à 10 %	10 à 15 %	> 15 %
pH	< 4,5	4,5-5	5-6	> 6
Matière organique, horizons supérieurs	—	< 1 %	1 à 3 %	> 3 %
Capacité d'échange (m. e) T	—	< 5 %	5-10	> 10 %
Degré de saturation. V = S/T %	—	< 15 %	15-40	> 40 %

L. S. = Limon sableux — S. L. = Sable limoneux — A. S. = Argile sableuse — L. A. = Limon argileux — L. A. S. = Limon argilo-sableux — L. = Limon.

EXPÉRIMENTATIONS RÉALISÉES, ESSAIS MIS EN PLACE

Les expérimentations et essais ont porté sur les problèmes d'éducation des plants en pépinière ainsi que sur les problèmes de plantation, et les introductions de clones nouveaux.

EN PÉPINIÈRE

Durant l'année 1968 et l'année 1969, il s'est agi avant tout de dégrossir les problèmes concernant

les techniques et les époques de bouturage. Nous avons pu vérifier que les meilleures reprises étaient obtenues en juillet et août (taux de reprise de 40 à 50 %) et que sur bons sols la croissance en pépinière pouvait atteindre 2 m environ dès la première année.

En 1970, les expérimentations ont porté sur l'amélioration des techniques de bouturage et la préparation des sols de pépinière. Des remarques

TABLEAU 2

N° Tr	Origine des boutures	% Reprise	Hauteur à 6 mois (m)	Nombre de branches/plant	Poids de branches/g/plant
T5	Tiges-plants de 1 an	55	0,93	8,4	138
T4	— arbres — 2 ans	58	1,21	9,1	153
T6	Branches — 2 ans	56	1,17	7,4	126
T1	— — — 3 ans	28	1,07	7,2	150
T2	— — — 8 ans	30	1,22	10,2	241
T3	— — — 20 ans	19	1,02	7,7	182
	Moyennes	41	1,11	8,3	156

intéressantes ont pu être faites sur l'arrosage et le drainage ainsi que sur la qualité des boutures à mettre en place.

En 1971, afin de préciser les résultats déjà obtenus concernant les boutures et les sols, deux essais systématiques ont été mis en place, l'un à la pépinière du Mangoro sur l'origine des bou-

tures et l'autre à Tananarive, en serre, sur l'influence de l'humidité des sols vis-à-vis du taux de reprise.

Origine des boutures.

Six origines de boutures provenant de tiges ou de branches d'arbres plus ou moins âgés ont été testées dans un dispositif en carré latin comportant 36 placeaux de 20 boutures chacun. La mise en terre s'est faite le 9.7.71. Le tableau 2 récapitule les moyennes des résultats les plus importants.

Nous voyons que ce sont les branches et tiges d'arbres jeunes qui donnent les meilleurs plants (reprise et forme). Pour la croissance, les arbres de 2 ans semblent meilleurs que ceux d'un an mais ceci est peut-être dû à la grosseur des boutures et un autre essai mis en place en 1972 devrait nous permettre de préciser cette question.

Les plants obtenus dans l'essai ci-dessus ont été mis en plantation en juillet 1972 afin de poursuivre les observations au-delà du stage en pépinière.

Humidité des sols.

Dans des seaux de 12 l contenant deux types de sols de pépinière (Manankazo et Mangoro) et 10 boutures chacun, nous avons maintenu le taux d'humidité à 25, 50, 75 et 100 % de la capacité de rétention maximale du 2 juillet au 11 novembre 1971. Les observations ont porté sur la reprise, l'enracinement, la croissance, etc, et les résultats les plus intéressants sont repris dans le tableau 3.

Essai en pépinière. Essai d'origine des boutures : T 3, boutures d'arbres âgés de 20 ans après 3 mois de pépinière.

Photo Malvos.



TABLEAU 3

Humidité des sols

Humidité	100 %	75 %	50 %	25 %
Reprise	91 %	40 %	17 %	0
Poids tige/plant	24 g	40 g	31 g	0
Nbre racines/plant ...	23	17	8	0

Ce tableau nous montre que la réussite des boutures de *P. deltoïdes Carolin*, pourtant connues pour leur reprise médiocre, peut atteindre presque 100 % à condition que le sol soit maintenu à une humidité très proche de la capacité au champ. La mesure de la consommation en eau des boutures permet aussi de préciser que ce taux d'humidité sera atteint par un arrosage de l'ordre de 4 à 5 mm /jour sur pépinière bien drainée (pour éviter la stagnation).

Tests divers.

Un test de trempage des boutures avant mise en terre a confirmé les résultats d'un essai mis en place par les Eaux et Forêts, à savoir que dans des conditions moyennes ou défavorables (transports des boutures) le taux de reprise passait de 37 à 75 % par trempage de 8 jours dans l'eau courante.

EN PLANTATION

Un certain nombre d'essais ont été mis en place depuis l'année 1969, quelques-uns ont déjà pu nous donner des renseignements intéressants, d'autres sont encore trop récents pour avoir pu être interprétés.

Tous ces essais ont été mis en place sur les terrasses alluviales de l'Ankona dont les caractéristiques du sol peuvent se résumer dans le tableau 4 (Analyse I. R. A. T. Madagascar).

Un diagnostic de carence par étude en vase de végétation par la méthode « CHAMINADE » a été réalisé également par l'I. R. A. T.

Les tableaux 5 et 6 donnent les moyennes des 3 récoltes de ray-grass en milligrammes de matière sèche ainsi que les rendements en % du rendement obtenu avec la fumure complète.

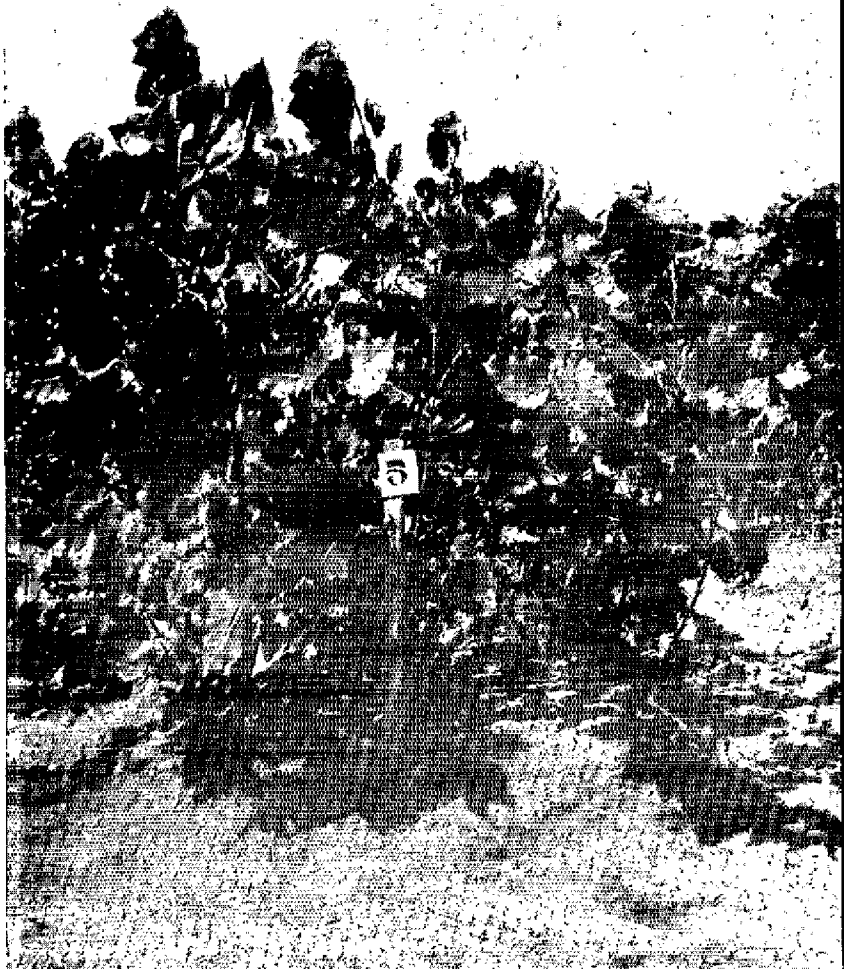
Un autre essai en pépinière sur l'origine des boutures : T 5, boutures de jeunes plants de 1 an après 3 mois de pépinière.

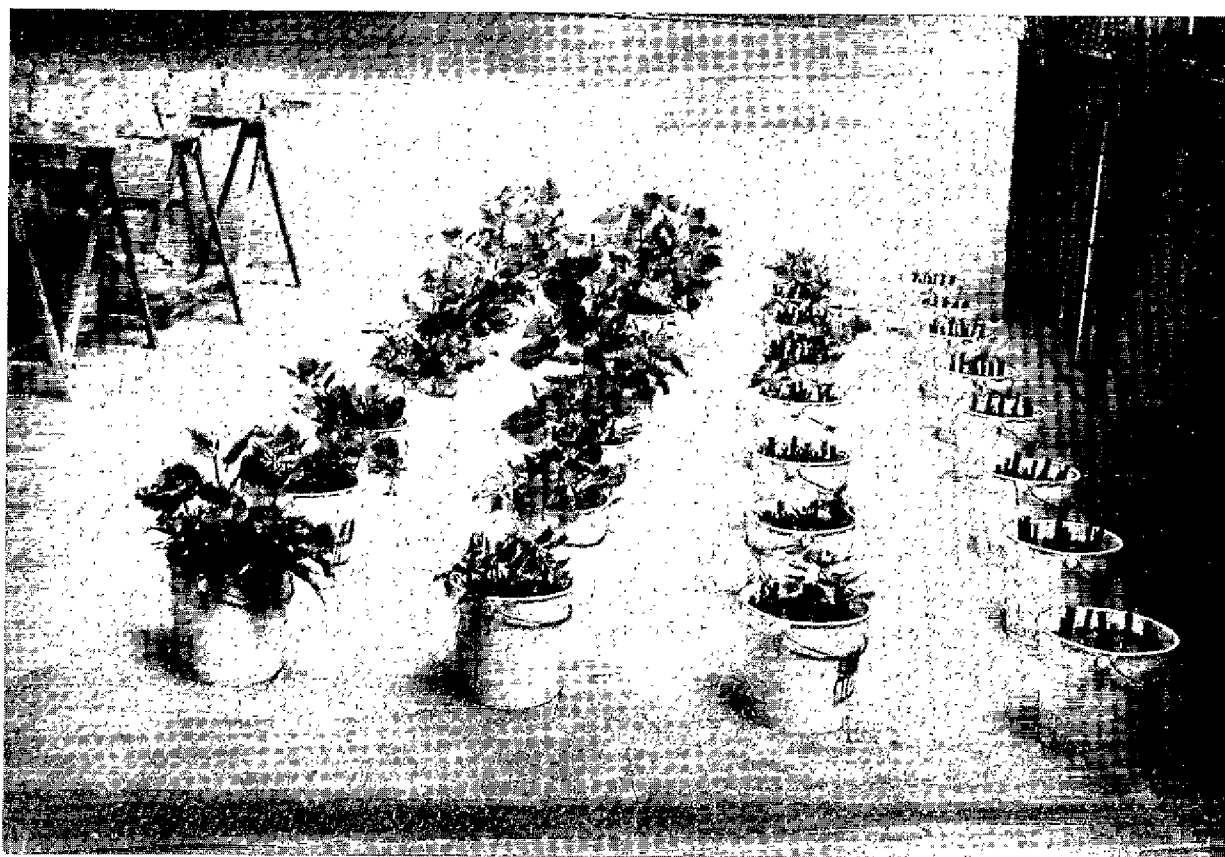
Photo Malvos.

TABLEAU 4

Analyse pédologique : terrasse de l'Ankona

pH	4,7
Sable grossier %	60,62
Sable fin %	12,16
Sable très fin %	0,88
Limon %	9,00
Argile %	13,00
Carbone %	1,91
Matière organique %	3,30
Azote %	1,14
Rapport C/N	16,75
Acide phosphorique assimilable (Truog) % ...	0,022
Ca échangeable m. e. %	0,93
Mg — m. e. %	0,82
K — m. e. %	0,07
Na — m. e. %	0,17
Somme des bases échangeables S. m. e. %	1,99
Capacité d'échange T. m. e. %	6,20
Saturation S/T %	32 %





Essai en laboratoire. Essai sur l'humidité des sols (enseau de 12 l).
Humidité 100 %, 75 %, 50 % et 25 % après 3 mois de végétation.

Photo Benoit de Coignac.

TABLEAU 5. — Récolte (moyenne par vase)

Traitement	1 ^{re} coupe	2 ^e coupe	3 ^e coupe	Total
Témoin.....	655	0	0	655
Fumure complète F. C.	8.627	2.860	4.999	16.486
F. C. — P	2.957	841	577	4.375
F. C. — K	4.801	1.321	0	6.122
F. C. — Ca	8.424	2.782	4.460	15.666
F. C. — Mg	7.611	2.586	4.299	14.496
F. C. — S	7.619	1.777	1.298	10.694
F. C. — Oligo-éléments	8.349	3.016	4.846	16.211
Azote seul	1.504	408	0	1.912

TABLEAU 6. — Rendement (% de F. C.)

Traitement	1 ^{re} coupe	2 ^e coupe	3 ^e coupe	Total
Témoin.....	7,6	0	0	3,8
Fumure complète F. C.	100	100	100	100
F. C. — P	34,3	29,4	11,5	26,5
F. C. — K	55,7	46,2	0	37,1
F. C. — Ca	97,6	97,2	89,2	95,0
F. C. — Mg	88,2	90,4	86,0	87,9
F. C. — S	88,3	62,1	26,0	64,9
F. C. — Oligo-éléments	96,8	105,5	96,9	98,3
Azote seul	17,4	14,3	0	11,6

— Dès la première coupe apparaît une grave carence en phosphore. On révèle aussi une carence un peu moins importante en potassium, une légère déficience en magnésium et soufre ;

— A la deuxième coupe, la carence en phosphore se confirme ainsi que celle en potassium, la carence en soufre s'accroît nettement, la déficience en magnésium reste stationnaire ;

— A la troisième coupe, aggravation des carences en phosphore et surtout en potassium, qui donne un rendement quasiment nul, ainsi qu'en soufre, la légère déficience en magnésium reste stationnaire, apparition d'une très légère carence en calcium.

Dates et modalités de plantation.

DESCRIPTION DES ESSAIS.

Essai n° 4.

Un premier test a été mis en place en juillet 1969. Dans ce test, il s'agissait de dégrossir le plus rapidement possible le problème concernant l'époque la plus favorable à la plantation des peupliers compte tenu :

- de la documentation disponible (surtout européenne),
- des conditions climatiques tropicales (été pluvieux),
- de la physiologie du peuplier « Carolin ».

Six parcelles de 25 arbres chacune furent plantées à 6 dates différentes (juin-juillet-août-septembre-octobre et avril) avec, dans chaque parcelle, un certain nombre de sous-traitements systématiques destinés, *a priori*, à modifier l'équilibre eau-plante en

Essais on plantation.

De haut en bas :

— *Essai n° 4 : dates de plantation. Aspect en décembre 1969. (On reconnaît les lignes recépées et les lignes non recépées) ;*

— *Le même essai, mais aspect en novembre 1971, avant élagage ;*

— *Toujours le même essai en novembre 1971, mais après élagage.*





Essai de plantation n° 12 : conduite des plants. Aspect en octobre 1971 d'un plant recépé à la plantation de juin 1971.

Photo Malvos.

Essai n° 7.

Les résultats de l'essai 4 demandant à être confirmés sur plusieurs saisons, nous avons mis en place dès 1970 un autre essai sur les dates de plantation. Huit dates furent testées cette fois, en débordant largement de la période d'arrêt de végétation (mai à novembre 70 + avril 71).

Huit parcelles de 16 arbres chacune furent plantées vers le 15 de chaque mois sur la terrasse B. 22, avec, dans chaque parcelle comme pour l'essai 4, un certain nombre de sous-traitements systématiques : plantation profonde ou superficielle, recépage, arrosage, etc.

Tous les plants ont reçu la même fertilisation que celle de l'essai 4. Deux comptages et mensurations ont été réalisés sur cet essai.

Essai n° 9.

Les essais 4 et 7, ayant donné d'excellents résultats pour les plantations d'avril à août quel que soit le sous-traitement, nous avons mis en place en 1971 un 3^e essai pour ne tester, cette fois, la reprise qu'au cours des périodes critiques (début et fin de végétation). Six dates ont été retenues (mi et fin septembre 71, mi et fin février, fin mars et mi-avril 72) avec 2 sous-traitements : recépage et grosseurs des plants. Six parcelles de 20 plants chacune furent plantées aux dates prévues près de la Station II sur la terrasse B. 22.

Tous les plants ont reçu la même fertilisation que celle des essais 4 et 7. Un comptage et une mensuration ont été réalisés en hiver 1972.

début et fin de saison de végétation : recépage des plants, arrosage, paillage, etc...

La méthode de plantation, qui est celle que nous avons utilisée, en général, par la suite sur l'ensemble des essais est la suivante :

- travail superficiel du sol (ici : labour en plein + sous-solage),
- trouaison (60 × 60 × 80) à la main et à 7 × 7 m,
- mise en place des plants « habillés » et pralinés,
- mélange terre + engrais sur le bord du trou,
- rebouchage des trous et arrosage (20 l/pl).

Tous les plants ont reçu la même fertilisation PK + Dolomie à la plantation et de l'azote en couverture.

Trois comptages et trois mensurations ont été réalisés à ce jour.

RÉSULTATS.

De l'exploitation des premières mensurations réalisées sur ces trois essais on peut dégager déjà un certain nombre de renseignements.

Dès les premiers essais, il est apparu que les plantations réalisées au cours de la saison de repos de la végétation (avril à août) présentaient généralement une reprise excellente, quels que soient les sous-traitements testés (recépage, arrosage, profondeur de plantation). Par contre, des mortalités importantes apparaissent dès septembre et surtout à partir du mois d'octobre donc dès le débouillage des plants. Enfin, il semble bien, mais ceci demanderait confirmation, que l'on puisse planter avant même la fin de la saison de végétation (février-mars) c'est-à-dire dès que la période de croissance en hauteur des peupliers est terminée et que se forment les bourgeons de l'année suivante.

En ce qui concerne la croissance, il semble que les

Egalement essai de plantation n° 12 sur la conduite des plants mais cette fois aspect à la même date d'un plant non recépé à la plantation de juin 1971.

Photo Malvos.

plantations de juillet soient les plus favorables. Par ailleurs, les plants en haute tige ne gardent, en général, qu'une légère avance sur les plants recépés. Cette question sera discutée plus particulièrement au paragraphe concernant l'origine des plants (essai 12).

Sur le plan pratique, la saison de plantation adoptée dorénavant s'établit essentiellement aux mois de juin et juillet, parfois début août.

Travail du sol et humidité.

DESCRIPTION DES ESSAIS.

Sur ce problème, deux essais ont été mis en place en 1970.

Essai n° 2.

Cet essai sur le travail du sol a pour but de comparer les diverses techniques de préparation du terrain utilisables pour la plantation de peupliers :

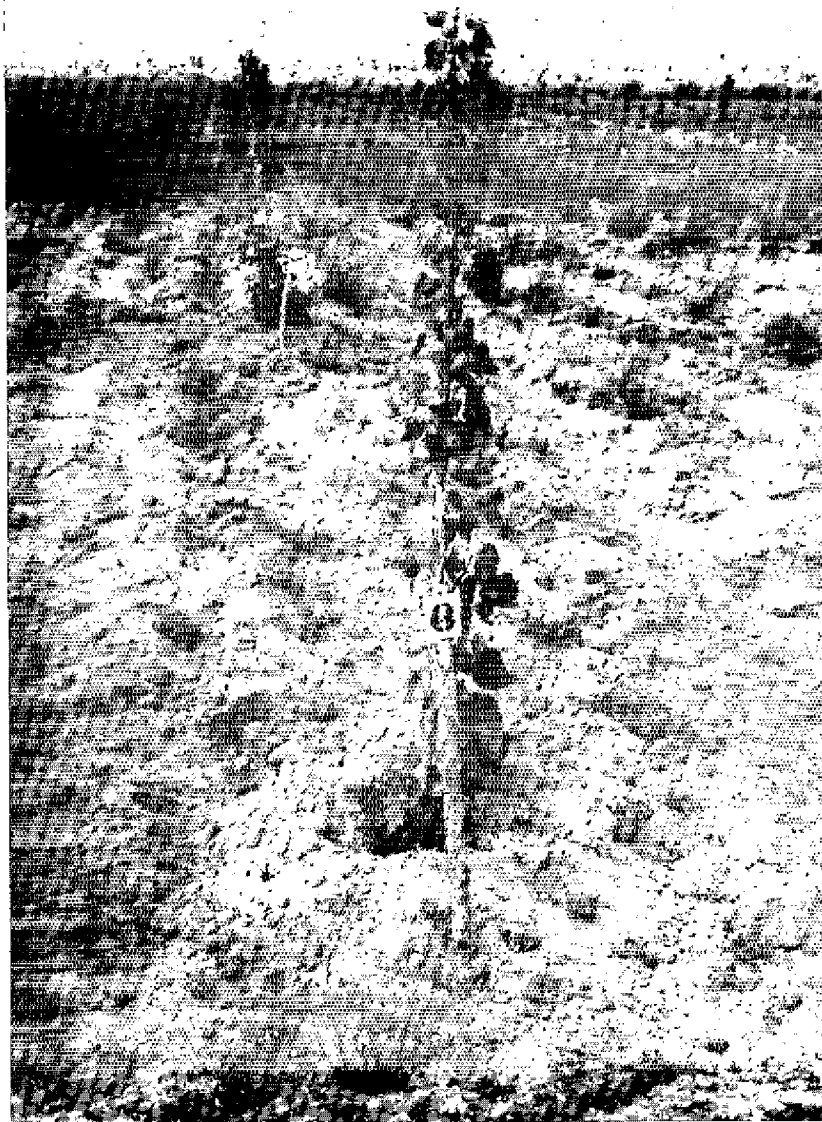
- T.0 = Trouaison simple (sans entretien) ;
- T.1 = Trouaison sarclée (12 m² à la main) ;
- T.2 = Labour en bandes (2 m de large) + entretien ;
- T.3 = Labour en plein + entretien ;
- T.4 = Comme T.3 + sous-solage croisé ;
- T.5 = Comme T.4 + culture intercalaire.

Pour cet essai, nous avons adopté un dispositif classique en 3 blocs de 6 parcelles de 25 arbres chacune.

Les travaux du sol ont été réalisés en avril 1969 mais, la plantation définitive n'a eu lieu qu'en 1970 (1) avec des plants provenant de la pépinière des Eaux et Forêts, tous recépés. Chaque plant a reçu une fertilisation complète NPK + Dolomie aux mêmes doses que celles de l'essai fertilisation (2). L'entretien des traitements T.1 à T.4 a été réalisé soit à l'angady, soit mécaniquement (motoculteur ou canadien à traction bovine). Sur le traitement T.5, des cultures intercalaires diverses ont été testées au cours des trois campagnes (arachides, maïs, soja, manioc, etc...) avec apport d'une fumure de fond sur toute la parcelle.

(1) Une première plantation a eu lieu en novembre 69 mais une forte mortalité due à la mauvaise époque nous obligea à tout replanter l'année suivante.

(2) Les 9 plants centraux de chaque parcelle ont reçu aussi une demi-dose supplémentaire lors de la replantation de juin 1970 (voir Essai n° 1, § 3231, p. 16).



Une mortalité importante (8 %) était apparue dès 1971. Des remplacements (en haute-tige) ont été réalisés en hiver 1971 et 1972 de même que la mensuration des plants vivants.

Essai n° 3.

Le second essai intitulé « Essai-Humidité-Croissance » a pour but de tester l'humidité des sols de plantation dans les trois stations situées sur la terrasse où ont lieu les expériences :

- Station I : Bordure de la terrasse ;
- Station II : Centre de la terrasse ;
- Station III : Pied de la colline.

Sur chaque station, nous avons donc installé dès 1969, deux parcelles de 5 × 5 plants, l'une sur trouaison simple (T.0 de l'essai n° 2), l'autre sur labour en plein (T.3 de l'essai n° 2). Un tube de sonde à neutrons (3 ou 6 m) a été mis en place au centre de chaque parcelle et des mesures régulières d'humidité

TABLEAU 7

Essai n° 2 : travail du sol

Traitement	T.0	T.1	T.2	T.3	T.4	T.5	Moy.
Mortalité (1972) %	15	15	1	3	7	9	8
Hauteur (71) m	0,99	1,17	1,23	1,29	1,36	1,38	1,24
Hauteur (72) m	1,29	1,78	1,88	2,21	2,33	2,38	1,98
Accroissement (H) m	0,30	0,61	0,65	0,92	0,97	1,00	0,74
Coef. de v. (1972) %	33,2	25,9	26,7	21,1	21,2	19,2	24,4

dité du sol ont été réalisées conjointement avec les spécialistes du laboratoire des radio-isotopes. La plantation, qui avait échoué en novembre 69, a été reprise en juin 70 avec fertilisation de départ comme sur l'essai n° 2. Un sarclage périodique a été effectué sur la parcelle labourée et des comptages et mensurations ont été réalisés en hiver 1971 et 1972.

RÉSULTATS.

Le tableau 7 résume l'ensemble des résultats obtenus sur l'essai 2 à partir des mensurations de 1971 et 1972.

En ce qui concerne la mortalité, seule la trouaison (simple ou sarclée) T₁ et T₀ présente une mortalité importante (> 10 %). Le travail et l'entretien du sol apparaissent donc déjà comme très favorables (1) (voir graphique n° 1).

La croissance des arbres se montre aussi très influencée par le travail du sol puisque dès 1971, la trouaison non sarclée (T.0) est significativement inférieure à tous les traitements avec labour en plein (3-4-5). En 1972, ce traitement (T.0) devient inférieur de façon hautement significative à tous les autres et les traitements avec travail partiel (T.1-T.2) s'avèrent aussi significativement inférieurs aux trois derniers traitements (3-4-5) qui ne diffèrent pas entre eux*

Les accroissements 72/71 sont encore plus remarquables puisqu'ils passent de 1 à 2 puis à 3 quand on va de T.0 aux traitements avec travail partiel (T.1-T.2) puis jusqu'aux} traitements à labour total (3-4-5).

Enfin, bien que l'homogénéité moyenne des plantations de cette campagne (1970-71) soit assez mauvaise, nous voyons que le travail du sol en plein favorise cette homogénéité et que, par contre, T.0 présente une forte variabilité qui a tendance à augmenter avec le temps.

L'essai 3 confirme la comparaison de deux de ces traitements, trouaison non sarclée (T.0) et labour en plein (T.3) :

(1) Le traitement T.5 semble avoir eu, lui aussi, une mauvaise reprise mais cette mortalité ne s'observe que dans la Station I où ce traitement est le plus proche du bord de la terrasse.

- Mortalité (72) : 8 % et 0 % ;
- Hauteur (71) : 1,16 m et 1,69 m ;
- Hauteur (72) : 1,38 m et 2,64 m ;
- Accroissement : 0,22 m et 0,95 m.

En ce qui concerne l'étude de l'humidité des sols, l'exploitation des mesures faites sur près de 4 ans est en cours et fera l'objet d'une publication séparée.

Ces résultats montrent bien que, comme nous le supposions déjà dans le rapport de juin 1970 (2), la préparation du sol par labour en plein est très favorable à la culture du peuplier, le travail partiel s'avérant insuffisant. Par contre, l'intérêt du sous-solage n'apparaît pas encore de façon significative car seule, la Station I (bordure de terrasse) montre un avantage de ce travail (T.3 = 2,17-T.4 = 2,84), mais aussi une plus forte mortalité en 1^{re} année. Il est possible que l'étude de l'humidité des sols nous permette de préciser cette question.

Enfin, la pratique des cultures intercalaires s'avère intéressante puisque le travail du sol est ainsi rentabilisé en partie par les récoltes obtenues, sans préjudice, au contraire, pour les peupliers.

Fertilisation.

DESCRIPTION DES ESSAIS.

Un certain nombre d'essais portant sur les problèmes de fertilisation ont été mis en place depuis le début de notre installation au Mangoro.

Essai n° 1.

Cet essai, implanté dès 1969, est un essai factoriel NPK, Dolomie, son but est de connaître les effets principaux et interactions des engrais suivants : azote, phosphate, potasse et dolomie dans un dispositif mono-arbre factoriel à 16 traitements et 8 répétitions (3).

Les doses d'engrais qui correspondent à chaque traitement (et combinaison) sont les suivantes (4) :

(2) Problèmes relatifs à l'installation de plantations de peuplier à Madagascar (C. T. F. T.).

(3) (4)² Traitements avec « split-plot » sur l'effet Dolomie et « confounding » sur l'interaction NPK.

(4) En réalité, ces doses sont à multiplier par 1,5 (sauf N) car avant la replantation de juin 1970 on a ajouté une demi-dose à chaque plant utile pour compenser un éventuel lessivage.

N : Ammonitrate 320 g/plant (superf. et fractionné)
 P } Supertriple 100 g/plant } au trou de
 } Hyperphosphate . 1.500 g/plant } plantation
 K : Sulfate de potasse . 500 g/plant }
 Dolomie locale 2 t/ha (1/2 au trou, 1/2 superficiel)

Essai n° 2

L'implantation a été réalisée en trois stations de la terrasse B.21 (2 blocs/Station) et en parcelles de 16 arbres dont 4 plants « utiles » et une ligne de bordure.

Les travaux du sol (labour en plein + sous-solage) ont été réalisés en mai 1969, mais la plantation qui avait échoué en novembre 1969 n'a eu lieu qu'en juin 1970 avec des plants provenant de la pépinière des Eaux et Forêts, tous recépés.

Une mortalité assez importante (4 %) étant apparue dès 1971, des remplacements (en haute tige) ont été réalisés en hiver 1971 et 1972 de même que les mensurations des plants utiles vivants.

Essai n° 6.

Cet essai, également planté en 1970, est la répétition de l'essai n° 1.

Celui-ci, en effet, ayant subi quelques avatars, nous avons voulu augmenter le nombre de répétitions en y ajoutant 4 blocs supplémentaires suivant le même protocole d'origine. Nous avons donc ici encore un dispositif mono-arbre factoriel à 16 traitements et 4 répétitions, ce qui, avec l'essai n° 1, si l'on ne tient pas compte des quelques différences de doses d'engrais apportées, fait donc un essai global à 10 répétitions.

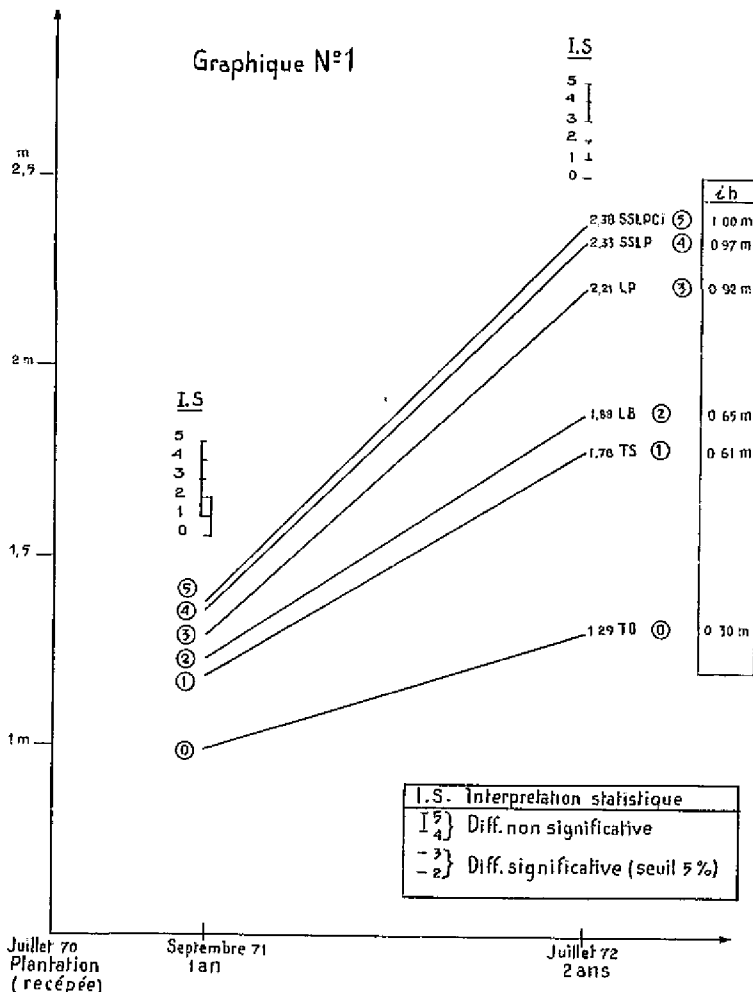
L'implantation et le travail du sol (labour + sous-solage) ont été réalisés sur la terrasse B.22 en avril 1970 et la plantation, comme pour l'essai n° 1 en juin 1970.

La mortalité fut un peu inférieure à celle de ce dernier (2 %) et les remplacements (haute-tige) ont été effectués, de même que les mensurations des arbres « utiles », en hiver 1971 et 1972.

Essai n° 8.

Dans les essais 1 et 6, nous avons testé l'effet principal et les interactions des divers éléments en choisissant, *a priori* pour chacun d'eux, une dose d'apport qui tenait compte des carences du sol et de la documentation à ce sujet. Dans le présent essai, nous avons voulu aborder ce problème de la dose d'apport des éléments NPK d'une façon plus détaillée dans un essai factoriel systématique à nombre de traitements élevé et peu de répétitions (faute de plants). Nous avons donc repris les mêmes doses de base que celles des essais 1 et 6 et

Graphique N°1



nous les avons combinées 3 à 3, suivant 4 niveaux pour chaque élément : 1/4, 1/2, 1 et 2 fois la dose de base. Cela nous a donné 64 (4³) traitements que nous avons appliqués arbre par arbre, sur 4 blocs et d'une manière systématique par permutation circulaire (essai clinique).

L'implantation et le travail du sol (labour + sous-solage) ont été réalisés en avril 1970 et la plantation (plants recépés) en juin 1970. Une mortalité assez importante (3 %) est apparue comme sur tous les essais plantés en 1970. Les remplacements (haute-tige) et les mensurations de tous les plants ont été effectués en hiver 1971 et 1972.

Essai n° 10.

Les essais 1 et 6, de même que l'essai 8 se proposent de nous renseigner sur l'effet relatif de chaque élément ainsi que sur l'équilibre optimal de ceux-ci. Cependant comme nous l'avons vu, ces essais utilisent un dispositif mono-arbre qui risque

de manquer de précision si trois conditions ne sont pas remplies ; reprise totale, homogénéité des plants et du terrain. Nous avons donc dès 1971 installé des essais complémentaires en parcelles de 9 arbres et cet essai n° 10 en particulier est destiné à préciser, sur la base de la formule classique (dose 1 de l'essai 8), la quantité optimale d'apport.

Cinq traitements ont été retenus qui correspondent à 0,1/2, 1,3/2 et 2 doses. Le dispositif expérimental est le carré latin, soit 5 répétitions de 5 parcelles de 9 arbres chacune. Il est installé près de l'essai n° 9 sur la terrasse B.21.

L'implantation et le travail du sol (labour + sous-solage) ont été réalisés en mai 1971 et la plantation a eu lieu en juin 1971 (plants recépés). Aucune mortalité n'est apparue dans cet essai et une mensuration de tous les plants a été effectuée en juin 1972.

Essai n° 11.

Cet essai, intitulé « étude des carences », a été planté lui aussi en 1971. Comme l'essai n° 10, il est destiné à préciser en parcelles de 9 arbres les résultats des essais mono-arbres (n° 1, 6 et 8). Cependant ici nous testerons l'effet de l'absence d'apport (carence) d'un élément par rapport à la fumure classique complète. Sur les 16 traitements des essais n° 1 et 6 nous en avons donc choisi 6 : O, NP, NK, PK, NPK, NPKDol., chaque engrais étant apporté à la dose classique (1). Le dispositif comprend 5 blocs de 6 parcelles qui sont installés près de l'essai n° 10 sur la terrasse B.21.

Travail du sol, plantation et mensuration ont été réalisés comme sur l'essai n° 10.

(1) Voir Essai n° 1.

Essai n° 4 bis.

Enfin, un test portant sur la fertilisation complémentaire a été mis en place sur les plants plantés dans l'essai 4 (dates de plantation) en 1969. Cet essai ayant donné 4 parcelles de 25 arbres d'une grande homogénéité, il a paru intéressant de tester, sur cette plantation, un apport complémentaire d'engrais en épandage superficiel.

Sur chacune de ces 4 parcelles, nous avons appliqué en novembre 1971, cinq traitements (un par ligne) comprenant deux formes d'engrais (ammonitrate ou engrais complet 11.22.16) à deux doses, plus un témoin (2). L'épandage a été réalisé sur 1 m de rayon autour de chaque arbre et une mensuration a eu lieu en juin 1972.

RÉSULTATS.

De l'étude des mensurations déjà réalisées sur ces essais de fertilisation, on a pu tirer quelques renseignements que nous reprenons ci-après.

a) Essais factoriels NPK-Dolomie.

Les résultats des essais mono-arbres n° 1 et 6 ont été perturbés pour deux raisons sans doute liées : une mortalité relativement importante et une hétérogénéité très forte pour des plantations mono-clonales. De ce fait, l'interprétation de ces résultats est assez difficile et manque de précision. Les moyennes obtenues sur l'ensemble des 2 essais

(2) Essai n° 4 bis.

Traitements	1	2	3	4	5
Ammonitrate	0	160 g	320 g	0	0
Comp 11.22.16 . . .	0	0	0	360 g	720 g

TABLEAU 8 (3)

Essais de fertilisation NPK (Hauteurs en cm)

Traitements année	Sans K		Avec K		Moyenne P		Moyenne N	
	71	72	71	72	71	72	71	72
Sans P { sans N { avec N	110 100	173 157	102 107	166 173	(105) S	(168)	(137) S [131] A	(216) [211]
Avec P { sans N { avec N	164 166	247 260	171 151	279 254	[164] A	[260]		
Moyennes K	(135)S (209)		[133] A	[218]				
Moyenne années	134	214						

(3) Voir ci-contre la note explicative.

(10 répétitions) sont récapitulées dans le tableau n° 8 (1) et sur le graphique n° 2.

Notons tout d'abord que la Dolomie n'ayant eu pratiquement aucun effet jusqu'à présent, nous n'en avons pas tenu compte dans ce tableau afin de ne pas trop l'alourdir (Moyennes : Sans : (132)-(209). Avec : $\boxed{137}$ - $\boxed{220}$). Nous remarquons aussi d'ailleurs que, ni la potasse, ni l'azote n'ont eu d'effet non plus, ce que vérifie l'analyse de variance. Toutes les interactions sont pratiquement nulles aussi. Seul l'effet phosphore est très hautement significatif et de l'ordre de + 65 %. Il faut noter cependant que c'est le traitement PK qui donne le meilleur résultat (avec ou sans dolomie), sur les deux années ($\bar{h}_{71} = 171$ et $\bar{h}_{72} = 279$).

En ce qui concerne l'homogénéité des résultats, celle-ci est dans l'ensemble assez mauvaise, mais c'est encore ce traitement PK qui présente un des meilleurs résultats ($v = 17,4\%$).

b) Essai de doses NPK.

L'essai n° 8 est aussi un essai factoriel mono-arbre dont les résultats ont été perturbés par la mortalité et l'hétérogénéité de la plantation 1970.

L'analyse statistique réalisée (2) après calcul des « parcelles manquantes » par la formule de YATES, nous montre cependant un effet N (en split-plot) non significatif et des effets P et K très hautement significatifs (sans aucune interaction). Les moyennes obtenues pour les deux mensurations sont reprises dans le tableau n° 9.

TABLEAU 9. — Doses NPK (hauteurs en m)

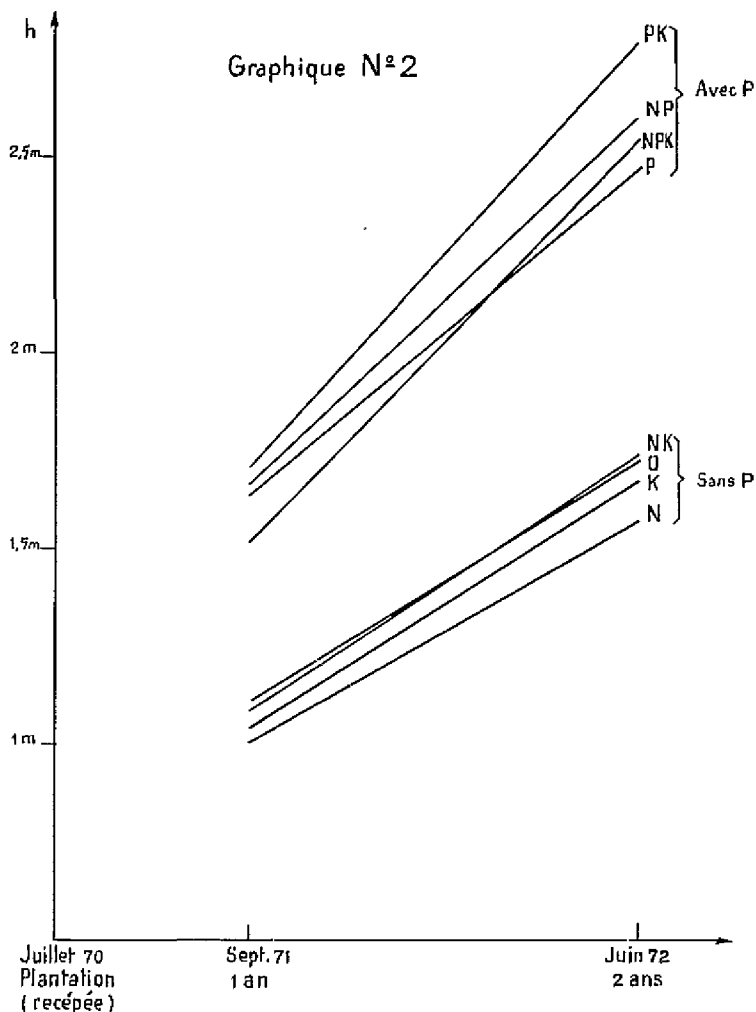
Doses		1/4	1/2	1	2	Sign.
N	71	1,26	1,34	1,31	1,32	NS
	72	2,33	2,48	2,34	2,40	NS
P	71	1,10	1,26	1,33	1,54	THS
	72	2,12	2,34	2,46	2,63	THS
K	71	1,49	1,40	1,30	1,05	THS
	72	2,60	2,52	2,35	2,05	THS

(1) Les moyennes des traitements principaux NPK sont exprimées :

- entre parenthèses pour les traitements sans (S) apport ;
- encadrés pour les traitements avec \boxed{A} apport.

(2) Cette analyse n'est qu'indicative car ce dispositif clinal n'est pas rigoureusement statistique.

Graphique N° 2



La décomposition des variances des effets P et K (polynômes de FISHER) permet de tirer les conclusions suivantes (cf. tableau 10) :

TABLEAU 10

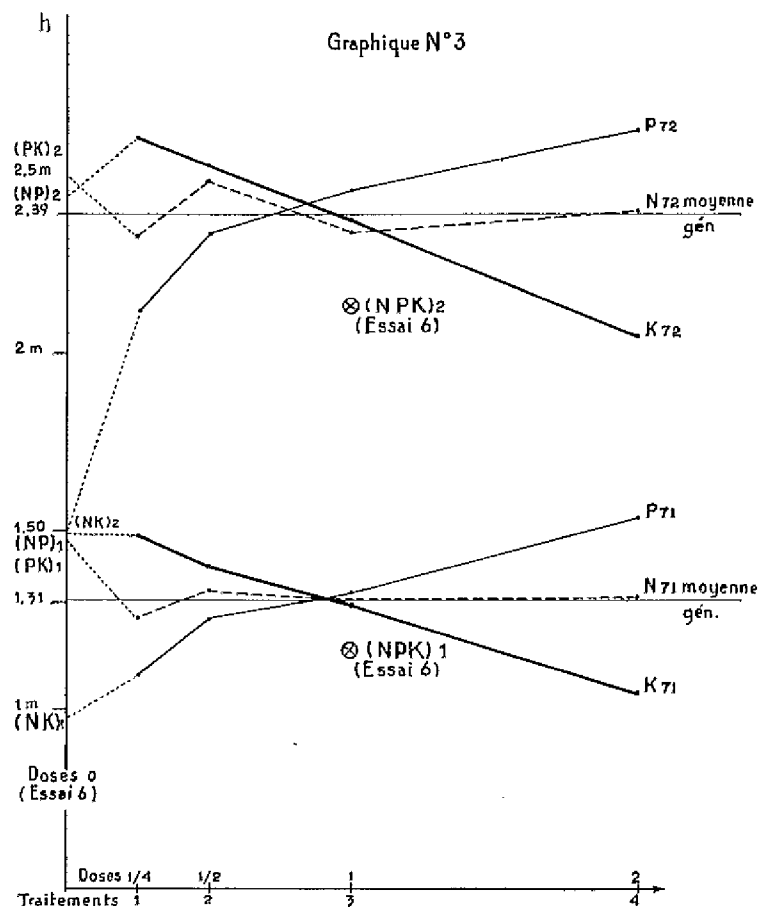
Doses P et K

Année		1971	1972
Effet P	Pente	THS	THS
	Courbure	NS	S
Effet K	Pente	THS	THS
	Courbure	NS	NS
		NS	NS

- la pente étant dans tous les cas très hautement significative (THS) les effets P et K sont fonction de la dose d'apport. Pour P, cette fonction est positive, par contre, pour K, elle est négative ;
- la courbure n'est significative (et négative) que pour l'effet P en 1972, cet effet est donc moins

Essai n° 8

Graphique N° 3



que proportionnel à la dose. Dans les autres cas, les effets sont donc linéaires et proportionnels aux doses d'apport ;

— les écarts non significatifs indiquent un bon ajustement (linéaire ou quadratique).

Le graphique n° 3 construit sur ces moyennes confirme bien ces conclusions. La représentation sur ce même graphique des résultats de l'essai n° 6 (voisin) nous permet de situer la dose 0 et d'avancer les hypothèses suivantes :

— l'effet phosphore est très important même à faible dose et il tend très vite vers un maximum ;

— l'effet potasse n'est sans doute pas nul, car l'analyse du sol montre une forte carence, mais il semble passer très rapidement par un maximum pour décroître linéairement après ;

— l'effet azote reste peu important et variable.

c) Doses pratiques d'apport.

L'essai n° 10 se proposait, avant même d'avoir déterminé si la formule d'engrais choisie était efficace et si l'équilibre des éléments y était correct, de savoir si la dose apportée habituellement pouvait être utilement réduite ou augmentée.

Les résultats de la 1^{re} mensuration en hauteur réalisée en 1972 (1 an) sont repris dans le tableau 11.

L'interprétation statistique nous montre que l'effet « traitements » est hautement significatif sur la hauteur, mais la comparaison des moyennes indique qu'au bout d'un an, seul le traitement sans engrais est significativement différent des traitements fertilisés et qu'aucune différence n'apparaît encore entre les différentes doses.

En ce qui concerne la variabilité, coefficient de variation Cv exprimé en %, c'est encore le traitement sans engrais qui est le plus hétérogène,

mais la différence n'est pas significative. Nous remarquons aussi dans cet essai la bien meilleure homogénéité globale des plantations réalisées en 1971 (1).

d) Etude de carences.

Il est rapidement apparu, au vu de l'hétérogénéité des premières plantations, que les essais mono-arbres n° 1-6 et 8 risquaient de manquer de

(1) Les plantations de 1970 présentaient des Cv de l'ordre de 30 % à 1 an.

TABLEAU 11

Doses pratiques

Dose	0	1/2	1	3/2	2	Moy.
\bar{H} (m)	1,13	<u>1,56</u>	<u>1,56</u>	1,43	<u>1,53</u>	1,44
Cv %	20,8	17,3	15,7	17,2	14,7	17,0

Nota : les moyennes soulignées ne diffèrent pas significativement entre elles.

TABLEAU 12
Etude de carences

Traitements	0	NK	NP	PK	NPK	NPKDoI	Moy.
H̄ (m)	0,93	1,01	1,40	1,48	1,35	1,43	1,27
Cv %	15,2	23,2	12,3	15,9	16,9	13,8	15,9

Nota : (Voir tableau n° 11).

TABLEAU 13
Fertilisation complémentaire

Traitement	1 (0)	2 (N1)	3 (N2)	4 (C1)	5 (C2)	Moy.
Hauteur 71 (m)	3,69	3,58	3,59	3,57	3,55	3,60
Hauteur 72 (m)	4,78	47,7	4,75	4,69	4,81	4,76
Accroist h (m)	1,09	1,19	1,16	1,12	1,26	1,16
Circonfér. 71 (cm)	15,7	15,4	15,6	14,7	15,1	15,3
Circonfér. 72 (cm)	22,6	22,2	22,2	22,3	23,2	22,5
Accroisst C (cm)	6,9	6,8	6,6	7,6	8,1	7,2

Nota : (0) = témoin
(N1) = ammonitrate 160 g (C1) = engrais complet 360 g
(N2) = ammonitrate 320 g (C2) = engrais complet 720 g

précision en ce qui concerne l'effet des éléments principaux NPK et Dolomie. D'autre part, il nous a semblé qu'en matière de fertilisation, vu l'extension très rapide des racines des arbres, il était un peu illusoire de penser que le plant utile n'allait pas envoyer ses racines puiser chez ses voisins les plus proches, les éléments qui lui sont nécessaires malgré la distance qui les sépare (7 × 7 m). L'essai n° 11 devait donc nous permettre de préciser cette question dans un dispositif moins complet mais beaucoup plus simple et pratique ne comportant que des traitements au moins binaires (et un témoin) et des parcelles de 9 arbres.

Les moyennes de la première mensuration en hauteur sont résumées dans le tableau 12.

En ce qui concerne les hauteurs moyennes, leur comparaison par le test de DUNCAN nous montre :

-- l'effet positif hautement significatif du phosphore (en présence de N + K) qui procure un accroissement de 32 % sur le traitement sans P (NK) ;

-- l'effet non significatif des autres éléments, le meilleur résultat étant cependant obtenu avec le traitement PK qui procure un accroissement de près de 60 % sur le témoin.

Le coefficient de variation Cv nous montre pour sa part un effet hautement significatif du traitement NK dans l'augmentation de l'hétérogénéité du peuplement par rapport au témoin 0, effet dû prin-

cipalement à la potasse qui entraîne aussi une augmentation significative de l'hétérogénéité en présence de NP (pour le traitement NP, Cv = 12,3 % et pour le traitement NPK, Cv = 16,9 %).

Ces résultats confirment bien ceux des essais n° 1-6 et 8.

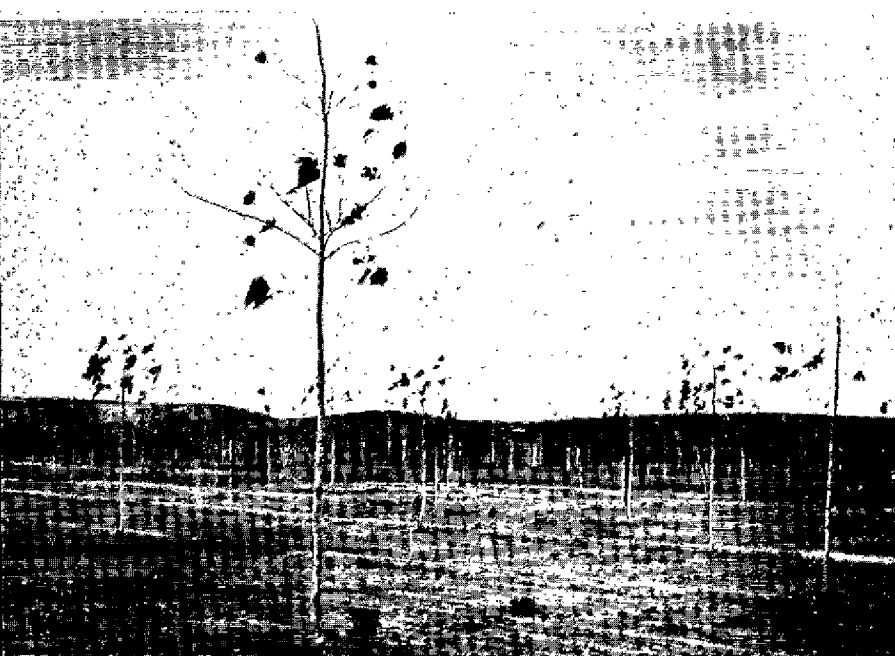
e) Fertilisation complémentaire.

Le tableau 13 reprend les moyennes des hauteurs et circonférences enregistrées sur l'essai 4 bis avant et après l'apport d'engrais complémentaire, ainsi que les accroissements observés entre ces deux mensurations.

Tant en hauteur qu'en circonférence, il semble bien apparaître un effet de l'apport d'engrais complet surtout à forte dose (C2) mais pour le moment, cet effet n'est pas significatif ce qui n'a rien d'étonnant après une action de 4 à 5 mois seulement.

De l'ensemble de ces essais portant sur le problème de la fertilisation, nous pouvons tirer un certain nombre de remarques générales.

Sur le plan de la méthodologie d'abord, si les essais mono-arbres présentent le grand intérêt de pouvoir porter sur de très nombreux traitements, il ne faut pas perdre de vue, outre la nécessité d'avoir une reprise totale et une parfaite homogénéité des sols et des plants, que dans les sols sableux des terrasses alluviales, les racines des peupliers



ont des croissances très rapides et que même avec un écartement de 7 m, il est rapidement illusoire de croire que l'alimentation d'un arbre se limite à l'apport d'éléments fait dans son trou de plantation. Les essais de fertilisation mono-arbres doivent donc se limiter à une approche d'un problème complexe sur quelques années d'observations et permettant un dégrossissage avant de passer aux essais classiques en parcelles plus coûteux mais plus sûrs.

Sur le plan des résultats, l'effet positif du phosphore apparaît dès maintenant très important et l'optimum d'apport se situe sans doute assez près de celui qui avait été choisi *a priori*. Par contre, les autres engrais (potasse, azote, dolomie) ne présentent pas encore d'effet net et des essais complémentaires seront nécessaires pour préciser à quoi

De haut en bas :

- Plantation de 4 ans, puisque effectuée en juin 1969, avant l'élagage hivernal ;
- Plantation de 3 ans (juillet 1970).

Photo Rossin.

est due cette absence d'action : carences, doses, équilibres, formes d'apport, etc.

Dès à présent, la fertilisation phosphorique est préconisée dans les plantations avec, si possible, un apport de fumure organique.

Densité de plantation.

Le problème de la densité de plantation revêt une particulière importance en matière de populiculture, car le peuplier est un arbre spécialement sensible à la concurrence. C'est pourquoi, ce problème a été abordé dès le début des expérimentations.

DESCRIPTION DES ESSAIS.

Essai n° 5.

En 1970, un premier essai de densité a été mis en place. Cependant, la documentation dont nous disposions à ce sujet présentait un éventail très important qui allait de 200 tiges/ha (7×7 en Europe) à plus de 1.000 tiges/ha (3×3 en Afrique du Sud). Il fallait donc réaliser un dispositif qui nous donne une gamme de densité suffisamment étalée, c'est pourquoi nous avons choisi un dispositif mono-arbre clinal composé de deux sous-essais à 5 densités chacun (dont 2 communes) allant de 130 plants/ha à 1.250 plants/ha.

L'implantation de cet essai a été réalisée sur la Station II de la terrasse B.21. Le travail du sol (labour en plein + sous-solage croisé) a été suivi de la plantation en juin 1970. Tous les plants ont été récepés et ont reçu la fertilisation classique NPK + Dolomie aux mêmes doses par plant que l'essai 2 (1).

Le nombre de plants morts fut inférieur à celui des essais précédents (1 %) mais tous dans le même traitement ce qui pose des problèmes d'interprétation. Ces plants ont été remplacés par des hautes-tiges avant les deux mensurations réalisées en hiver 1971 et 1972. Comme dans toutes les plantations réalisées en 1970, une forte hétérogénéité est apparue dans cet essai ; aussi dès 1972, d'autres

(1) Notons que si la dose par plant est la même, la dose par Ha passe de 2/3 à 6 suivant les densités.

essais portant sur la densité de plantation ont été mis en place.

Essai n° 14.

Comme nous l'avons vu, l'essai n° 5 de 1970 se proposait déjà de tester 8 densités allant de 130 à 1.250 pl./ha dans un dispositif clinal à 1 seule composante variable, l'autre étant fixée pour chaque sous-essai. Dans cet essai n° 14, nous avons utilisé un dispositif proposé par MARYNEN, à deux composantes variables qui procure un échelonnement encore plus important des densités (100 à 10.000 plants/ha). Cet essai devrait nous permettre de déduire, comme le fait DELVAUX (SREF. Belgique), les lois générales de la compétition inter-individuelle chez le peuplier « Carolin ».

Ce dispositif qui comporte 15 densités et 4 répétitions a été installé sur labour en plein, près de l'essai 5 sur la terrasse B.21. La fertilisation habituelle a été apportée à chaque plant (2) à la plantation en juillet 1972 et tous les arbres ont été récupérés.

Essai n° 15.

Les résultats d'essais de densités sont toujours longs à obtenir et il est donc exclu dans ce cas d'attendre les conclusions des premiers essais pour en installer d'autres plus précis. Les essais nos 5 et 14, déjà installés utilisent des dispositifs assez théoriques et il nous a semblé indispensable de mettre en place aussi et sans attendre, un essai de type pratique en parcelles, avec 3 traitements seulement : 210-400 et 820 pl./ha. Le dispositif très simple comprend 3 blocs de 3 parcelles de 25 arbres utiles (au minimum) chacune, qui ont été installés sur labour en plein près de l'essai 13 sur la terrasse B.21. La plantation fertilisée et récupérée a été réalisée en juillet 1972.

RÉSULTATS.

Des trois essais de densité installés sur les terrasses de l'Ankona (Essais 5-14 et 15), seul l'essai 5 a été mesuré

(2) Cela représente un apport/ha très élevé pour les fortes densités.

De haut en bas :

- Plantation de 2 ans (juillet 1971). Essai de fertilisation.
- Plantation d'un an (juin 1972). Essai de densité de plantation.

Photo Rossin.

en 1971 et 1972, mais il est bien évident qu'il est encore trop tôt pour tirer des conclusions, la concurrence inter-individuelle étant *a priori* très faible dans les premières années. Seul le traitement le plus dense du sous-essai I montre une différence significative avec deux des 4 autres densités, mais cet effet n'est pas encore très net. Une observation beaucoup plus nette a pu être faite sur cet essai, c'est l'effet défavorable des très faibles densités, ainsi que le montrent les moyennes générales des deux sous-essais :

Mensurations	H71	II72
Sous-Essai I (+ dense).....	1,43 m	2,49 m
Sous Essai II (- dense).....	1,30 m	2,17 m



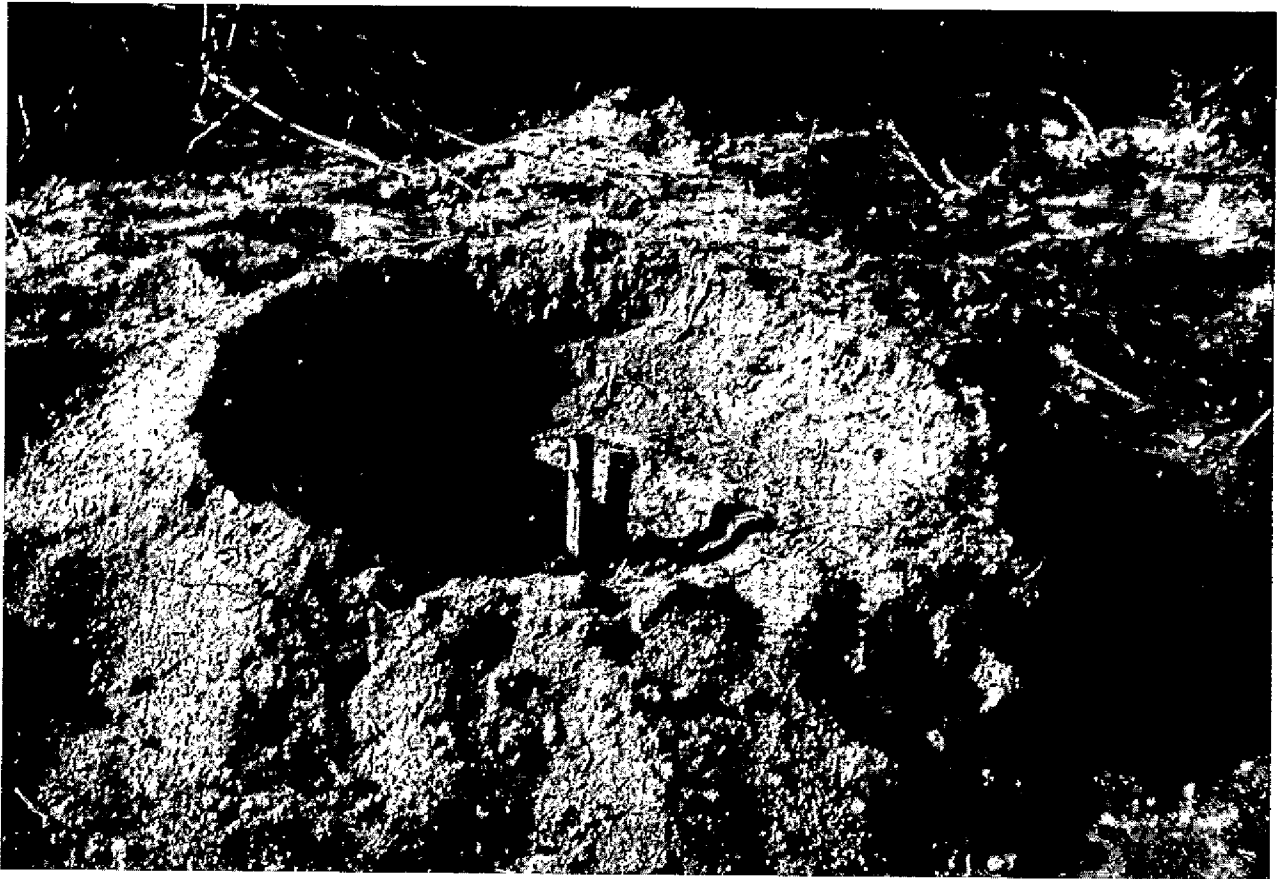


Photo Rossin.

Plantation de 1973. Plants recépés à la plantation.

Cet effet dépressif est probablement dû à l'action néfaste du vent comme le prouve l'effet de bordure négatif observé sur les lisières.

Origine et conduite des plants.

DESCRIPTIONS DES ESSAIS.

Essai n° 12 (cf. photos p. 12 et 13).

Le premier essai portant sur ce thème a été planté en 1971. Sur les essais antérieurs, des différences de comportement des arbres sont très vite apparues, qui semblaient dues à la « qualité » des plants et à leur conduite à la plantation. Sur cet essai très simple, nous avons donc voulu tester 3 types de plants :

— boutures d'un an (F1R1 : pépinière C. T. F. T.) : T.1 ;

— barbatelles d'un an $\left\{ \begin{array}{l} \text{grands plants} \\ > 2,0 \text{ m} : \text{T.2} ; \\ \text{petits plants} \\ < 1,2 \text{ m} : \text{T.3.} \end{array} \right.$
(F1R2 Pép. des E. & F.)

Chaque traitement a été divisé en 2 sous-traitements systématiques : recépé ou non recépé à la plantation. Le dispositif comprend 5 blocs de

3 parcelles de (3 × 2) 6 plants chacune et est installé près de l'essai 9 sur la terrasse B.21.

Les travaux et la plantation ont été réalisés comme sur les essais n°s 10 et 11. Par contre, des mensurations et observations plus nombreuses ont été effectuées tout au long de la campagne 1971-72.

Essai n° 13.

En 1972, nous avons repris ce thème et avons mis en place un second essai dans lequel nous avons voulu poursuivre en plantation les observations déjà réalisées dans un essai en pépinière mis en place en 1971 (voir Essais en pépinière) pour comparer 6 origines de boutures de P. « Carolin ».

Le dispositif très simple comporte 3 blocs de 6 parcelles de 9 arbres chacune installés près de la Station II sur la terrasse B.21. Le nombre de plants de l'une des origines (boutures d'arbres de 20 ans) étant insuffisant, nous avons compté une « parcelle manquante » sur laquelle on a planté à titre de comparaison une 7^e origine intéressante : les drageons.

La plantation sur labour en plein a été réalisée en juillet 1972 avec des plants de la pépinière C. T. F. T. tous fertilisés et recépés.

Essai n° 16.

Les principes d'élevage utilisés jusqu'à présent sur les divers essais étaient basés sur les études Sud-Africaines à ce sujet, mais étaient limités à un seul passage en saison froide. Dans cet essai, nous avons voulu tester l'effet d'un élevage plus intense et plus fréquent sur la forme et la croissance des peupliers au Mangoro. On a prévu dans cet essai quatre traitements dont un témoin sans élagage et 3 parcelles élaguées 1-2 ou 3 fois au cours de l'année et deux sous-traitements systématiques ; plants recépés ou non à la plantation. Le dispositif comprend 3 blocs de 4 parcelles comportant 2 lignes de 9 plants (une ligne par sous-traitement). L'installation a été réalisée sur labour en plein près de l'essai n° 13 sur la terrasse B.21. La plantation, fertilisée, a été réalisée en juillet 1972. Les deux premières interventions ont déjà eu lieu en novembre 1972 (T.3 et 4) et en janvier 1973 (T.4).

RÉSULTATS.

Seul l'essai 12 a pu nous donner à ce jour quelques renseignements.

Les plants ayant été mesurés plusieurs fois au

cours de la saison de végétation, nous avons pu suivre leur croissance tout au long de l'année (voir graphique n° 4) et réaliser quelques observations intéressantes :

— croissance rapide et régulière des plants recépés qui font une pousse de 1,35 m (T.1 & T.3) à 1,70 m (T.2) dès la première année ;

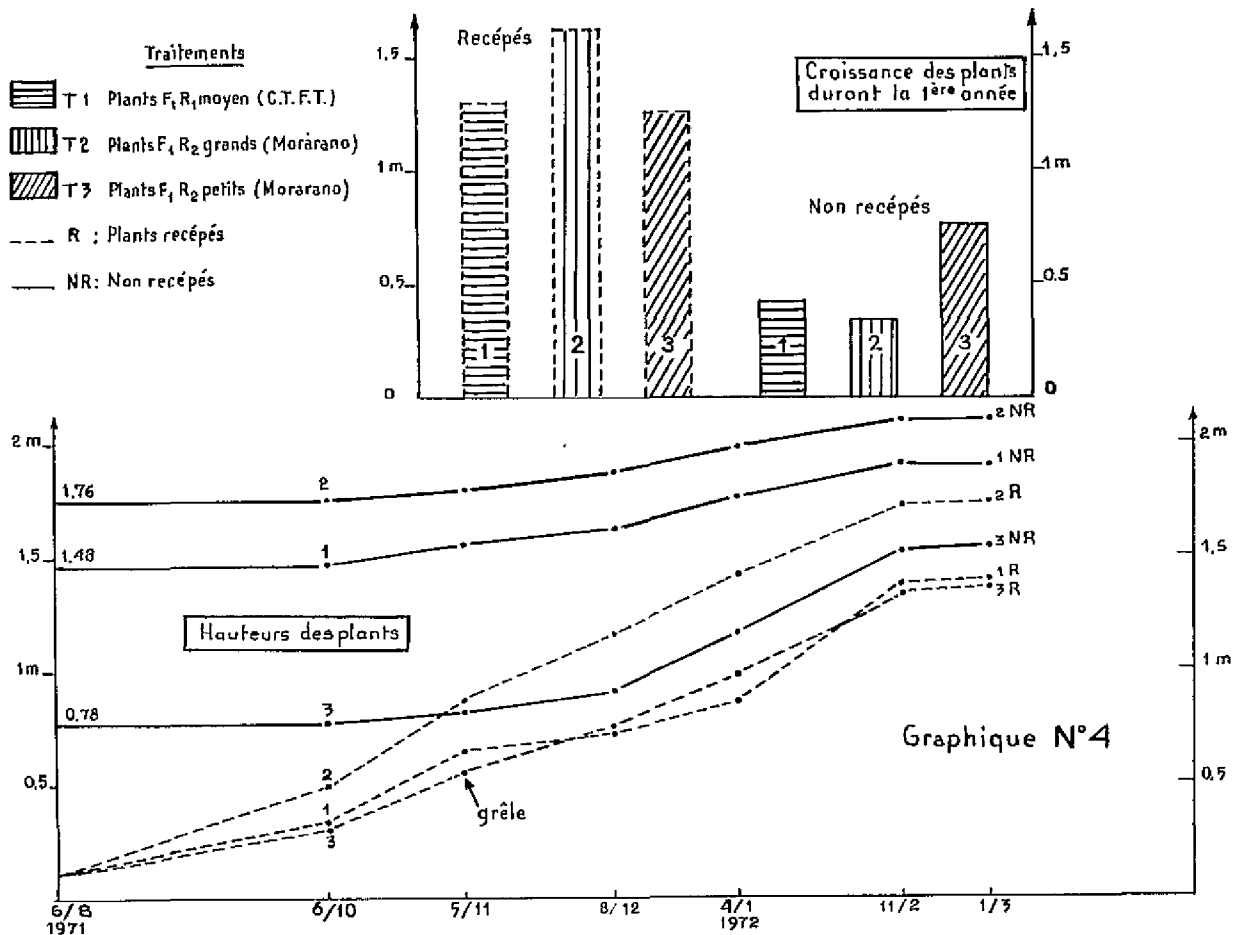
— croissance moins précoce et faible des plants en haute-tige qui font une pousse de 0,40 m (T.1 & T.2) à 0,75 m (T.3) la première année ;

La comparaison des hauteurs moyennes atteintes par chaque traitement au bout d'un an permet de tirer les résultats suivants :

— plants recépés : T.1 et T.3 ne diffèrent pas entre eux (1,40 m) mais sont nettement inférieurs (H. S.) à T.2 (1,75 m) ;

— plants haute-tiges : T.3 (1,54 m) est très nettement inférieur (H. S.) aux deux autres traitements qui ne sont plus que significativement différents l'un de l'autre (T.1 = 1,90 et T.2 = 2,11 m) ;

— entre plants recépés et haute-tiges, la différence n'apparaît plus à 1 an sur T.3 alors qu'elle reste hautement significative avec T.2 et surtout T.1.



Au bout d'un an, on voit donc :

- que la plantation de grands plants en hauteur est la meilleure, mais elle pose des problèmes de transport ;

- que le recépage des plants est à conseiller soit, si l'on ne dispose que de petits plants (mell-

leure forme) soit avec de grands plants, s'il y a des difficultés de transport (différences faibles) ;

- que la plantation de barbatelles est intéressante mais demande beaucoup de place en pépinière pour un gain relativement faible.

LES INTRODUCTIONS

Afin d'éviter les risques inhérents aux plantations mono-clonales de Peuplier et pour chercher si d'autres clones ne se révélaient pas meilleurs, un certain nombre de clones nouveaux ainsi que quelques Saules ont été introduits à Madagascar depuis 1968.

Ces introductions ont eu essentiellement 3 origines :

- France : Ecole des Barres à Nogent-sur-Vernisson et Centre National de la Recherche Forestière de Nancy ;

- Italie : Centro di Sperimentazione Agricola et Forestale (C. S. A. F.) Rome ;

Institut d'Expérimentation en Populiculture de Casale Montferato ;

- Uruguay : Département Forestier de la Faculté d'Agronomie de Montevideo (Uruguay).

Certaines de ces introductions ont été réalisées dans des conditions non favorables (débouillage précoce, échauffure, voie maritime, etc.) et leur échec n'est encore que très provisoire. Il s'agit des clones suivants :

- *P. deltoïdes* 65/51 et 250.3 ;

- *P. nigra* « Italica » ;

- *Salix alba calva* et *S. nigra*.

D'autres clones ont été expédiés dans de bonnes conditions et leur échec est sans doute plus définitif :

- *P. deltoïdes* : « Alabama », 232.3, 261.3 et 265.2 ;

- *P. alba* « Lucca ».

Parmi les introductions encore vivantes à ce jour, après le passage obligatoire en serre de quarantaine, certaines ont déjà donné un nombre suffisant de plants pour la mise en place en 1972 d'un essai comparatif de clones (Essai n° 17).

Il s'agit des 7 clones suivants :

- *P. xeuram* : « Culasso », I.214 et B1M ;

- *P. deltoïdes* : « Texas », 63.51 et 77.51 ;

- *P. nigra* : « Chile ».

Le dispositif de cet essai comprend trois blocs de 8 parcelles de 9 plants chacune, ces derniers ayant tous été fertilisés et recépés à la plantation.

D'autres clones introduits déjà depuis 3 ou 4 ans

présentent encore une assez mauvaise croissance et ne donneront sans doute jamais rien :

- *P. xeuram* : PA1, B2F et 1Z ;

- *P. deltoïdes* : 055-3, 061-3, 063-1, 244-2, 248-3 et 250-2 ;

- *P. nigra* : « Blanc de Gar » CZB.4 et CZB.25 ;

- *P. alba* : 40/57, 42/57 et 49/51.

Enfin, certaines introductions récentes semblent, au moins pour quelques-unes, beaucoup plus prometteuses :

- *P. deltoïdes* « Alton », « Rosedale », Cat. F.2, Cat. F.5, B. de M., 10 et B., de M.13 (Uruguay) ;

- *P. trichocarpa* : FPL et 61.1 (France) ;

- *Salix* : *alba coerul.*, A. 131-25 et A. 131-27 (Uruguay).

En résumé, sur plus d'une quarantaine de clones introduits après sept expéditions, nous dénombrons actuellement :

- 10 échecs dont 5 quasi-définitifs ;

- 34 reprises dont 7 mises en plantations comparatives et 11 très prometteuses.

Sans que nous puissions encore voir quels seront les clones valables, il semble cependant assez probable que dans quelque temps certains clones s'avèreront sinon meilleurs, du moins aussi valables que « *P. deltoïdes Carolin* » introduit depuis de longues années à Madagascar.

Un point pratique est à signaler. Nous avons eu les meilleures reprises avec des conditionnements d'expédition aux caractéristiques ci-après :

- tige de 1 m paraffinée aux deux bouts ;

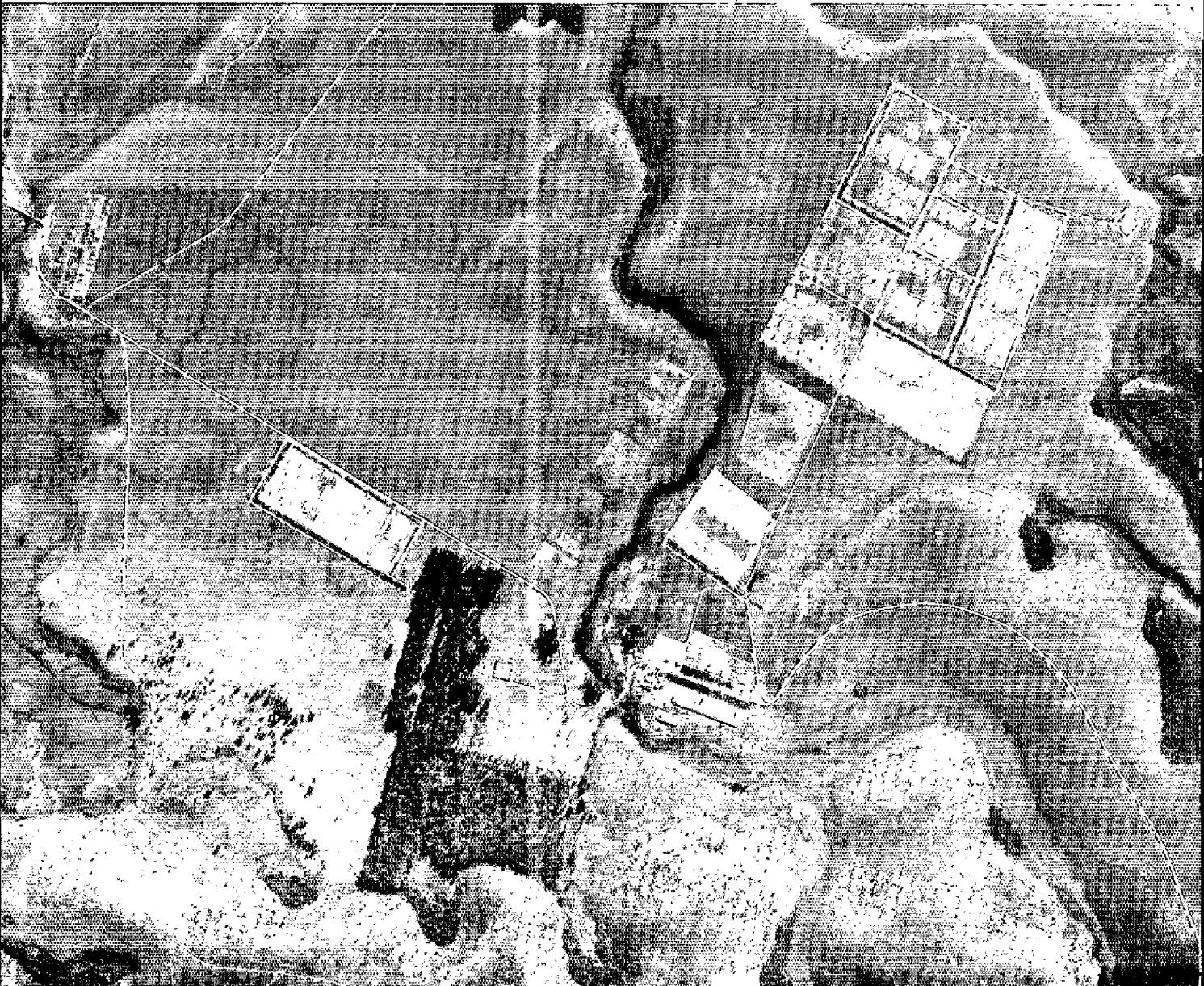
- emballage un peu perméable (pas de sac en plastique) ;

- emballage comportant une protection contre les chocs (toile de jute, paille, carton).

Les meilleures époques d'expédition semblent être :

- **Europe** : juste après la fin de la végétation, c'est-à-dire, novembre et peut-être même octobre, car cela éviterait sans doute au maximum la crise due au changement de cycle végétatif ;

- **Hémisphère Sud** : de mai à août (au plus tard) ; l'adaptation au cycle étant immédiate, ces introductions présentent un grand intérêt pour Madagascar.



Vue aérienne des expérimentations.

Photo B.E.T.T.

CONCLUSION

Il y a moins de cinq ans, la populiculture était inconnue à Madagascar, seuls quelques peupliers plantés dans les jardins ou en alignement le long des routes sur les Hauts-Plateaux, démontraient que cette essence s'était bien adaptée et que dans certaines conditions elle pouvait donner de très bons résultats.

La Direction des Eaux et Forêts ayant décidé, pour pallier le manque de bois de déroulage, la création d'une plantation de 1.500 ha dans la région du Mangoro, le C. T. F. T. de Madagascar fut sollicité de réaliser dans les meilleurs délais un certain nombre d'essais et de reconnaissances afin de définir, d'une part, les sols de la région du Mangoro qui pouvaient convenir à la populiculture et d'autre part, les techniques à mettre en œuvre dans les conditions écologiques de Madagascar.

L'opération Populiculture devant démarrer immé-

diatement son programme de plantation, une étude bibliographique rapide et une prospection pédologique détaillée ont permis de situer les sols les plus favorables à ces plantations. Dans le même temps, le C. T. F. T. installait tant en pépinière qu'en plantation un certain nombre d'essais dont nous avons brièvement décrit les protocoles et les premiers résultats dans les chapitres précédents.

Il est bien évident qu'après 4 années d'expérimentations, il serait présomptueux de vouloir tirer de ces essais des conclusions définitives, mais les premiers résultats obtenus permettent déjà d'orienter les techniques de plantation utilisées, de préciser les points sur lesquels des recherches complémentaires s'avèrent nécessaires et d'espérer, dans un avenir prochain, une définition de plus en plus précise de la sylviculture du peuplier à Madagascar.

BIBLIOGRAPHIE

- ASSOCIATION FORÊT CELLULOSE (A. F. O. C. E. L.). — Essais de populiculture, période 1960-1965.
- ASSOCIATION TECHNIQUE DE VULGARISATION FORESTIÈRE (A. T. V. F.). — Extraits relatifs au peuplier, *Bulletin de Vulgarisation Forestière*.
- BAILLY, BENOIT DE COGNAC ET MALVOS. — Problèmes relatifs à l'installation de plantations de peupliers à Madagascar. Reconnaissance des sols. Premières plantations, opération populiculture. C. T. F. T., Madagascar, juin 1970.
- BAULE et FRICKER. — La fertilisation des arbres forestiers, 1969.
- BONNEAU. — L'importance des propriétés physiques du sol dans la production forestière. *R. F. F.*, n° 1, janvier 1968.
- BOUCHARD et MALVOS. — Compte rendu de tournée Peupliers au Mangoro, I. R. A. T.-C. T. F. T. Madagascar, février 1970.
- CHARDENON. — L'emploi des fertilisants en populiculture, 6^e congrès international du peuplier, 1957.
- CENTRE TECHNIQUE FORESTIER TROPICAL. — Madagascar. Renseignements sur les pépinières de peupliers tirés de la bibliographie C. T. F. T., novembre 1968.
- CENTRE TECHNIQUE FORESTIER TROPICAL. — Madagascar. Note préliminaire relative au problème de l'implantation de peupliers dans la région du Moramanga, mai 1968.
- DUCHAUFFOUR. — Les sols à peupliers. Extrait de la Revue Forestière Française, juin 1955, n° 7.
- DUCHAUFFOUR. — Culture du peuplier et pédologie, 6^e congrès international du peuplier, 1957.
- DUCHAUFFOUR. — Précis de pédologie, Ed. Masson, Paris, 1965.
- F. A. O. — Les peupliers dans la production du bois et l'utilisation des terres, 1956.
- FRICKER. — Le peuplier et sa fumure « La forêt privée », septembre-octobre 1961.
- FRICKER. — La fertilisation du peuplier. Association Française pour l'étude du sol, section Bourgogne, journée d'étude sur le peuplier, Dijon, 19 mai 1967.
- GACHET. — Les peupliers à Madagascar. Document C. T. F. T., juin 1961.
- INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE. — L'eau et la production végétale, 1964, Paris.
- LEROY. — La fertilisation du peuplier, connaissances acquises et difficultés d'application, *R. F. F.*, mai-juin 1969.
- LION MATCH COMPANY Ltd, Durban 1964. — La plantation du peuplier deltoïdes pour le bois d'allumettes, traduction C. T. F. T., 1968.
- MALLET et BOHAIN. — Populiculture en terrain argileux ou argilo limoneux. *R. F. F.*, n° 9, septembre 1966.
- MALVOS, BENOIT DE COGNAC et BAILLY. — Essais sur peupliers à Madagascar. C. T. F. T., Madagascar, mai 1973.
- PICCAROLO. — Le peuplier. Règles pratiques de culture, janvier 1960.
- POURTET. — La culture du peuplier, 2^e édition 1961, J. BAILLÈRE, Paris.
- POURTET. — L'amélioration des peupliers par la sélection. *R. F. F.*, n° 10, octobre 1964.
- RAKOTOMANAMPISON. — Essai I sur les peupliers. Comparaison de plants de 2 ans et de 1 an, recépés ou non. Document ronéotypé, Direction des Eaux et Forêts, Madagascar, mai 1970.
- RAKOTOMANAMPISON. — Compte rendu d'installation des essais de plantation. Campagne 1970/1971 sur *Populus deltoïdes*. Direction des Eaux et Forêts, Madagascar, septembre 1970.
- RAMANANTSOA. — Les peupliers à Madagascar. Document Eaux et Forêts de Madagascar, novembre 1966.
- SCHOENNAMSGRUBER. — La fertilisation du peuplier. Extrait de l'*Allgemeine Forstwirtschaftschrif*, München, vol. 16, 1961.
- TARIS. — Peupliers et populiculture. Ed. Eyrolles, 1956.
- TINGLE. — Sylviculture du *Populus deltoïdes* en Afrique du Sud. *Annale Universiteit van Stellenbosch*, Vol. 41, Série A, n° 10, 1966. Extraits traduits par le C. T. F. T., Madagascar, Division S. F., 1969.
- TINGLE et VAN LAAR. — The Economics of Thinnings in poplar plantations. Communication n° 31/1972. Faculty of Forestry Stellenbosch, Afrique du Sud.

