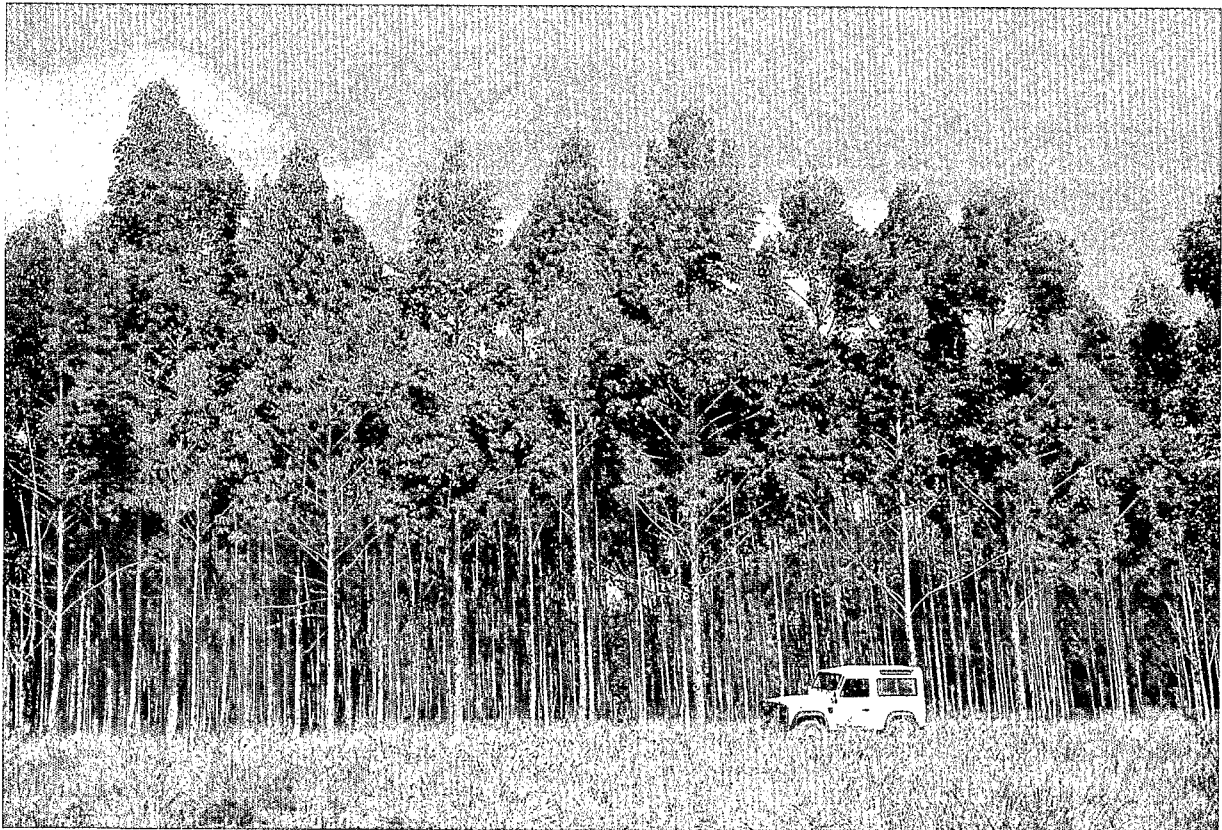


VINCENT LEBOT
MICAP/CIRAD

L'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE DES FEUILLUS EXOTIQUES À MADAGASCAR



Vergers à graines de descendance d'*Eucalyptus grandis*, âgé de cinq ans, site d'Antsirirana.
A five-year-old *Eucalyptus grandis* progeny seedling seed orchard, at Antsirirana.



Cet article relate le parcours d'un programme d'amélioration génétique* destiné à la foresterie villageoise exploitant des espèces à usages multiples dans des régions bioclimatiques variées.

Dans la plupart des régions à Madagascar, la déforestation est achevée et les populations rurales ont recours aux plantations d'espèces exotiques pour satisfaire leurs besoins en bois d'énergie et de construction. Il est probable que d'importantes superficies de forêts artificielles seront mises en place prochainement pour répondre aux demandes grandissantes de ce pays, dont la démographie augmente rapidement ; ces plantations seront d'autant plus rentables qu'elles seront réalisées avec du matériel plus performant.

C'est dans ce contexte qu'une équipe de chercheurs appartenant au FOFIFA et au CIRAD-Forêt a entrepris un programme de recherches sur les performances agronomiques d'espèces feuillues, introduites pour les reboisements villageois à Madagascar ; elle a étudié tour à tour : les contraintes dues à l'environnement, le choix des espèces exotiques en voie d'amélioration, la stratégie adoptée pour obtenir une sortie variétale correspondant aux besoins du développement, les dispositifs utilisés pour la production de se-

mences forestières ; elle vous livre ici les premiers résultats de ses travaux.

LES CONTRAINTES DUES À L'ENVIRONNEMENT

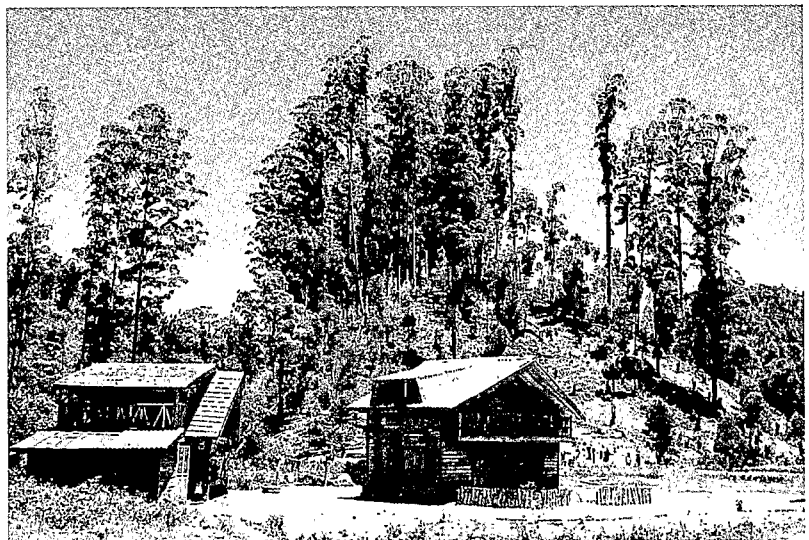
La remarquable diversité bioclimatique de Madagascar contraint le chercheur à mener un programme d'amélioration génétique pour la production de variétés adaptées à la foresterie villageoise de quatre zones distinctes : les zones orientale, centrale, occidentale et méridionale (RAZANAKA, 1989, fig. 1, tableau 1, p. 24).

□ **Sur la côte est**, la réduction de la protection végétale arborée, conséquence directe du système de cultures sur brûlis à longue révolution, aboutit à une savanisation rapide puis à la formation de pseudo-steppes à *Aristida*, *Hyparrhenia* et *Stenotaphrum spp.* La disparition du sol, ferrallitique rouge sur roches cristallines diverses, succède à la disparition de la forêt. La zone

* Financé par le Fonds Européen de Développement (FED).

Les *Eucalyptus spp.* sont des arbres à usages multiples à Madagascar. Au premier plan, les maisons sont construites en planches d'*E. robusta* et, à l'arrière-plan, *E. grandis* est exploité pour la production de poteaux électriques.

Eucalyptus spp. are multipurpose trees in Madagascar. In foreground, the houses are made of *E. robusta* boards and in the back, *E. grandis* cultivated for the production of power-line poles.



orientale est en effet pénalisée par une forte pression démographique combinée à une forte pluviosité sur de fortes pentes ; c'est l'une des régions du monde où l'érosion est actuellement la plus violente. Les moyens à mettre en œuvre passent par le reboisement des zones déjà dégradées de manière à freiner l'érosion et à satisfaire les besoins en ressources ligneuses et en bois d'énergie. Les vastes zones de savanes situées à proximité d'axes routiers majeurs représentent un potentiel considérable pour la mise en place des futures plantations destinées à approvisionner les grandes villes du pays.

□ **Les hautes terres de la zone centrale** sont densément peuplées et fortement déboisées. La topographie accidentée a favorisé une érosion sévère résultant en pseudo-steppes à *Aristida* et *Philippia* spp., sur des sols ferrallitiques typiques à horizons jaunes sur rouges, avec risque de toxicité aluminique sur les pentes. Les plantations villageoises doivent donc être réalisées avec des espèces dont les exigences nécessitent une sortie variétale très localisée compte tenu des caractéristiques particulières de cette région d'altitude aux sols particulièrement acides. Les reboisements visent à contrôler les bassins versants, couvrir les pentes pour éviter l'ensablement des rizières de bas-fonds et satisfaire les marchés urbains en bois de chauffe.

□ **L'ouest de Madagascar** est régulièrement ravagé par les feux de brousse destinés à reverdir les pseudo-steppes à *Loudetia*, *Hyparrhenia* et *Aristida* spp. des pentes occidentales, qui accueillent la grande majorité des troupeaux. Ces régions s'étendent sur des sols ferrugineux tropicaux, peu lessivés sur matériaux originels sableux ou sablo-argileux. Elles sont considérablement déboisées et subissent les coupes destinées à satisfaire l'approvisionnement des villes et les opérations

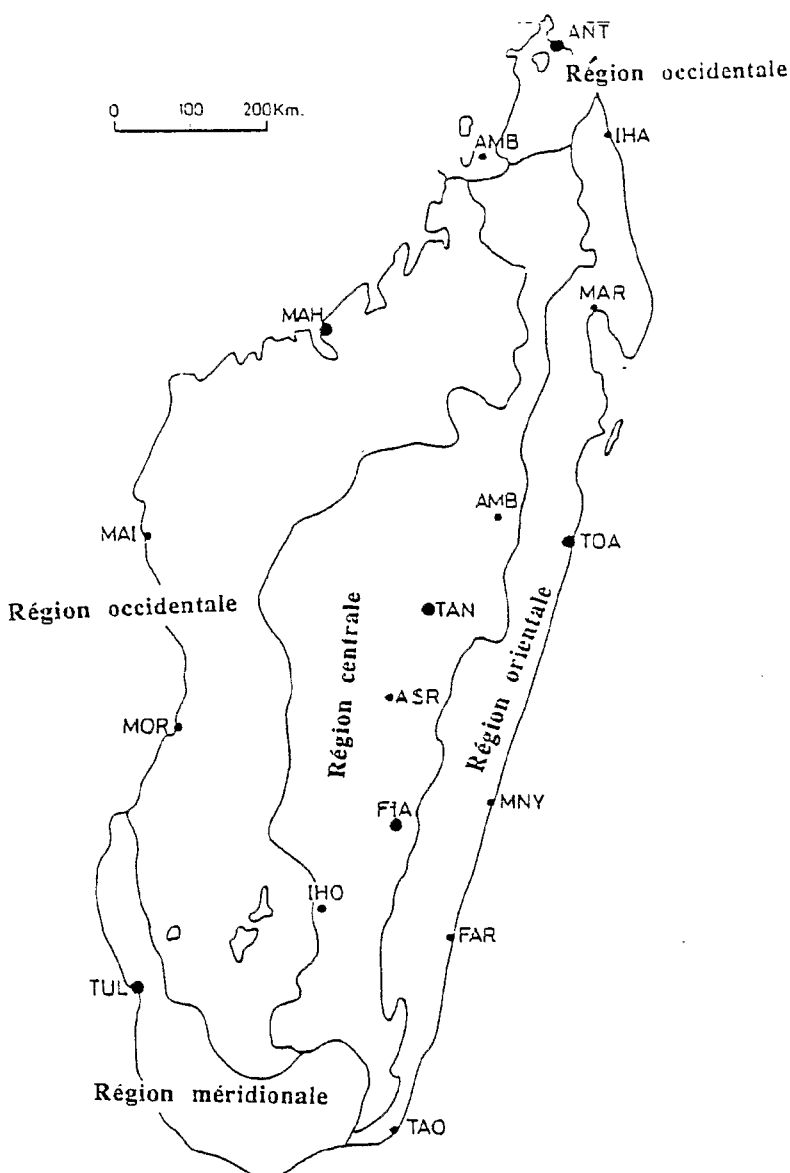


Figure 1. Régions bioclimatiques de Madagascar.
Bioclimatic zones of Madagascar.

de séchage du tabac ou d'autres cultures.

□ **Enfin, les zones semi-arides de la région sud** sont constituées de pseudo-steppes à *Heteropogon*, *Cenchrus* et *Hyparrhenia* spp. La zone méridionale située entre Fort-Dauphin et Tuléar subit des sécheresses

cycliques. Les reboisements villageois sont faits suivant des systèmes agroforestiers destinés à freiner l'érosion éolienne de ces sols ferrugineux tropicaux peu lessivés sur roches et matériaux calcaires. Les semences de ces espèces à usages multiples, destinées essentiellement à l'embocagement, ne peuvent être

TABLEAU I
CARACTÉRISTIQUES DES ZONES BIOCLIMATIQUES DE MADAGASCAR

Zones	Orientale	Centrale	Occidentale	Méridionale
Surface totale (%)	18	32	41	9
Altitude (m)	0-700	800-1 800	0-500	0-300
Température moyenne annuelle (°C)	21-25	16-22	23-26	24-27
Précipitations (mm)	2 000-3 800	1 000-1 600	700-1 600	300-600
Mois écossecs	1-3	4-6	5-7	7-10
Mois de croissance	12	8-10	4-8	2-4

produites que localement compte tenu des sérieuses contraintes pédo-climatiques.

LE MATÉRIEL VÉGÉTAL

Les espèces autochtones de Madagascar étant de croissance très lente, l'effort de la recherche s'est porté sur la sélection d'espèces exotiques. Après un long et nécessaire criblage en arboretum, le choix des genres *Acacia* et *Eucalyptus* pour la majorité des reboisements villageois s'est fait en raison de leur rusticité et, bien sûr, de leur croissance rapide. On estime à plus de 300 000 hectares la superficie plantée en *Eucalyptus spp.*, dont la majorité est cultivée en *E. robusta* qui présente une exceptionnelle résistance au feu en raison de son écorce épaisse. L'approvisionnement annuel d'Antananarivo en bois d'énergie nécessite à lui seul l'exploitation en taillis d'environ 80 000 ha plantés à la périphérie orientale de la capitale au début du siècle.

Les objectifs de la foresterie villageoise peuvent difficilement être atteints par une seule espèce compte tenu de la multiplicité des usages et de la diversité des milieux (tableau II). Le choix des espèces concernées par le programme

d'amélioration FOFIFA/CIRAD-Forêt a été réalisé en fonction de plusieurs critères. Une synthèse des résultats obtenus dans les essais interspécifiques installés depuis plus de vingt ans, combinée à une analyse des résultats obtenus en arboretum (CHAUVET, 1968 ; SUTTER, RAKOTONOELY, 1990) permet de dresser une courte liste des espèces les mieux adaptées

aux reboisements villageois. Par ailleurs, une étude des ventes réalisées par le partenaire privilégié de ce programme : « Silo National des Graines Forestières » (S.N.G.F.), seul Etablissement public habilité à distribuer et vendre des graines au niveau national, nous a aidés à identifier les espèces prioritaires dans chaque zone (tableau III). Le pro-

TABLEAU II
LES OBJECTIFS DE PRODUCTION PAR ZONE BIOCLIMATIQUE

Zone	<i>Eucalyptus spp.</i>	<i>Acacia spp.</i>
Orientale :	<ul style="list-style-type: none"> • bois d'œuvre • perches et poteaux • bois de trituration 	<ul style="list-style-type: none"> • régénération des sols • couverture arborée pour le contrôle des bassins versants • systèmes agroforestiers
Centrale :	<ul style="list-style-type: none"> • bois d'énergie • bois d'œuvre • perches et poteaux • aptitude au rejet • résistance au feu 	<ul style="list-style-type: none"> • bois d'énergie • reboisement des pentes
Occidentale :	<ul style="list-style-type: none"> • bois d'énergie • perches et poteaux 	<ul style="list-style-type: none"> • embocagement • production de fourrage
Méridionale :	<ul style="list-style-type: none"> • étage dominant des brise-vent • bois d'œuvre 	<ul style="list-style-type: none"> • embocagement, brise-vent • production de fourrage • systèmes agroforestiers

TABLEAU III
ESPÈCES PRIORITAIRES PAR ZONE BIOCLIMATIQUE

Orientale	Centrale	Occidentale	Méridionale
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	<i>E. camaldulensis</i>	<i>E. camaldulensis</i>	<i>E. camaldulensis</i>
<i>E. grandis</i>	<i>E. cloeziana</i>	<i>E. citriodora</i>	
<i>E. maculata</i>	<i>E. grandis</i>	<i>E. tereticornis</i>	
<i>E. microcorys</i>	<i>E. maculata</i>		
<i>E. resinifera</i>	<i>E. microcorys</i>		
<i>E. robusta</i>	<i>E. resinifera</i>		
<i>E. tereticornis</i>	<i>E. robusta</i>		
<i>Acacia aulacocarpa</i>	<i>A. dealbata</i>	<i>A. aulacocarpa</i>	<i>A. albida</i>
<i>A. auriculiformis</i>	<i>A. mearnsii</i>	<i>A. auriculiformis</i>	<i>A. nilotica</i>
<i>A. crassicarpa</i>		<i>A. crassicarpa</i>	
<i>A. mangium</i>		<i>A. mangium</i>	
<i>Casuarina cunninghamiana</i>	<i>Casuarina cunninghamiana</i>	<i>Casuarina equisetifolia</i>	<i>Azadirachta indica</i>
<i>Cedrela odorata</i>	<i>Grevillea robusta</i>	<i>Cedrela odorata</i>	
<i>Tectona grandis</i>		<i>Tectona grandis</i>	<i>Tamarindus indica</i>

gramme ne pouvant améliorer toutes les espèces d'eucalyptus et d'acacia qui sont adaptées aux reboisements à Madagascar, il convient en effet d'établir des priorités en fonction de la demande nationale et donc des besoins du S.N.G.F. en semences améliorées. Les commandes de graines adressées au S.N.G.F. sont dictées par les connaissances des villageois et correspondent finalement aux desiderata des agriculteurs et aux reboisements qu'ils souhaitent réaliser. Mais il existe aussi un réel souci de diversification de ces espèces de la part des forestiers malgaches.

Le programme est concentré sur l'étude de la variabilité intraspécifique de ces espèces. Il est mené, dans chaque zone bioclimatique, sur deux sites distincts. Des essais comparatifs de provenances sont donc mis en place pour chaque espèce prioritaire. L'étude de la

variabilité intraprovenance permet d'identifier des arbres « plus » dont les descendances, récoltées sous forme de familles de demi-frères, sont également comparées. Les tests de descendances concernent actuellement l'*Eucalyptus grandis* et l'*E. robusta*, qui sont certainement les espèces dont les programmes d'amélioration sont les plus avancés (BOUVET, ANDRIANIRINA, 1990 ; RANAIVOSON, 1993 ; LEBOT, RANAIVOSON, 1994).

Les espèces utilisées pour les reboisements ont pour la plupart été introduites au début du siècle et l'origine du matériel végétal est bien souvent inconnue. Leur base génétique est probablement très étroite et certaines plantations exhibent désormais des symptômes de dépression consanguine (LEBOT, RANAIVOSON, 1994). Si des structures productrices de graines de qualité ne sont pas développées, le

risque est grand de voir la dégradation de l'environnement s'accroître, freinant ainsi le développement de la filière bois et le développement rural lui-même.

En 1993, le S.N.G.F. a vendu à des particuliers 132 kg de semences d'*Eucalyptus spp.* Si l'on sait que 500 graines pèsent en moyenne un gramme, on peut rapidement estimer l'ampleur de la demande nationale, même si les pertes en pépinière sont élevées. Il est important de satisfaire cette demande avec du matériel végétal amélioré. Une gestion intensive de vergers à graines d'*Eucalyptus* permet de produire environ 4 kg/ha de semences. Plus de 30 hectares de vergers sont donc nécessaires pour fournir le S.N.G.F. et satisfaire la demande nationale seulement pour les eucalyptus. Les besoins nationaux en vergers à graines sont considérables en raison de la diversité bioclimatique du pays et donc de la diversité des espèces exotiques utilisées (tableau III). L'installation de vergers à graines est donc fondamentale pour l'avenir de la foresterie malgache et représente une étape essentielle de la stratégie d'amélioration à long terme. Initié en 1993, le projet FED 6 ACP MAG 84 intitulé « Mise en place de vergers à graines » a pour objectif d'installer environ 66 ha de vergers à graines dans les quatre zones bioclimatiques (LEBOT, 1992 et 1994).

LA STRATÉGIE D'AMÉLIORATION

Une synthèse des résultats obtenus par le programme depuis plus de vingt ans (LEBOT, RANAIVOSON, 1994) nous a permis d'élaborer une stratégie d'amélioration adaptée aux moyens dont on dispose à Madagascar. Cette stratégie concerne la foresterie villageoise et les espèces à allogamie prédominante. Il

s'agit d'améliorer simultanément plus de 20 espèces exotiques de feuillus, destinées aux reboisements dans les quatre zones bioclimatiques du pays (tableaux I et III, pp. 24 et 25). Cette approche oblige à accepter des compromis visant à réduire les tâches et les coûts et permettant une organisation rationnelle des opérations.

La stratégie a pour objectif de produire des géotypes d'une grande plasticité afin d'être exploités dans des milieux variés. Ces variétés doivent aussi être rustiques, c'est-à-dire utilisables sans intrants, vigoureuses au jeune âge, mais surtout destinées à des usages multiples tels que le bois énergie et le charbon de bois, la production de perches, de poteaux ou de bois de sciage. La plasticité et les performances en croissance sont donc les caractéristiques majeures. Ces variétés doivent surtout être utilisables par voie sexuée, condition nécessaire à leur distribution à grande échelle en milieu villageois. Les variétés synthétiques produites en panmixie et pollinisation libre semblent les mieux adaptées aux conditions des divers milieux où sont effectués les reboisements villageois à Madagascar.

Compte tenu de la diversité des caractères qui doivent être améliorés, l'introduction d'une variabilité génétique importante pour chaque espèce concernée est une étape fondamentale du programme d'amélioration. Les provenances importées de leur aire d'origine constituent bien sûr la source la plus intéressante de cette variabilité génétique qu'il faut évaluer dans diverses zones. De plus, pour chaque espèce, ces populations de base sont aussi de véritables collections de germoplasme qui sont entretenues à moindre coût lorsqu'elles sont mises en place sous la forme de vergers à graines. L'évaluation des provenances est généralement une longue opération qu'il est préférable de combiner avec la production de semences.

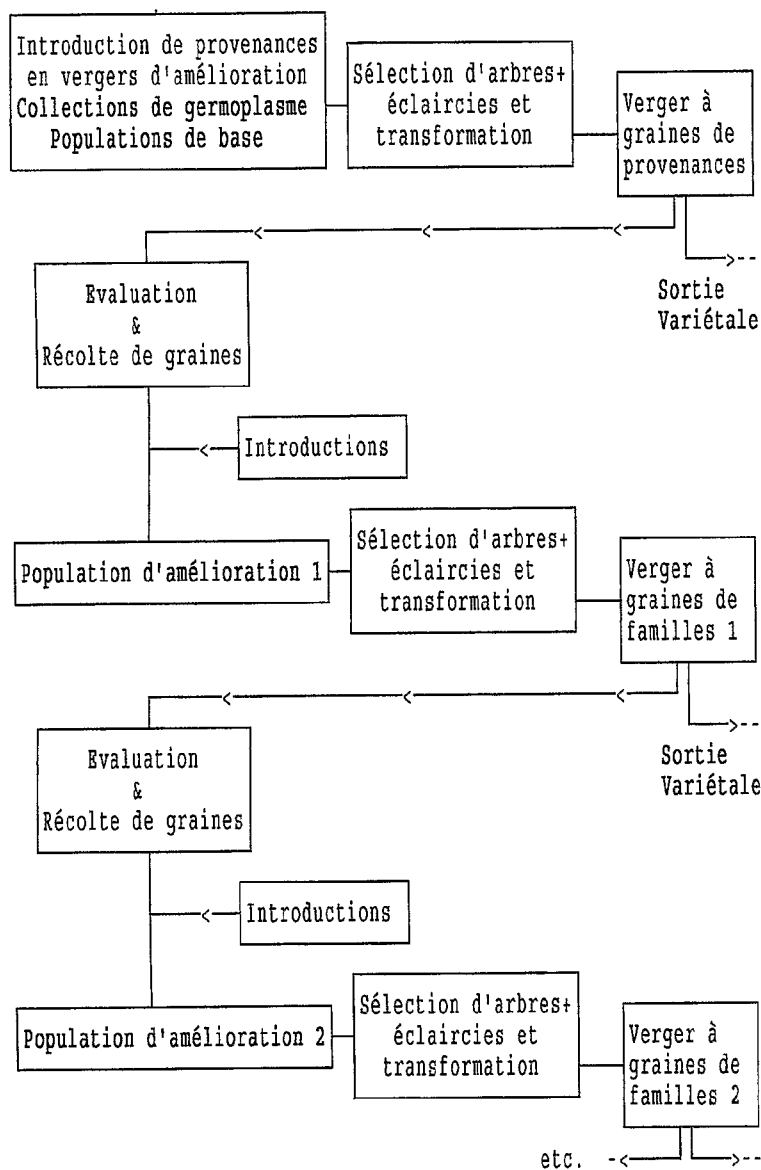


Figure 2. Amélioration d'espèces feuillues exotiques à l'aide de vergers à graines. Sortie variétale synthétique de populations produites en panmixie, obtenues par sélection récurrente. Les cycles durent en moyenne 4 à 5 ans, selon les sites et les espèces.
Breeding exotic broad-leaved species using seedling seed orchards. Production of synthetic populations via panmixis, open pollination and recurrent selection. The cycles last 4 to 5 years, according to sites and species.

L'amélioration des performances est d'autant plus rapide qu'elle se concentre sur moins de caractères. Compte tenu de la diversité bioclimatique de Madagascar, il semble raisonnable de sélectionner des caractères de croissance (hauteur et diamètre par exemple) dans divers



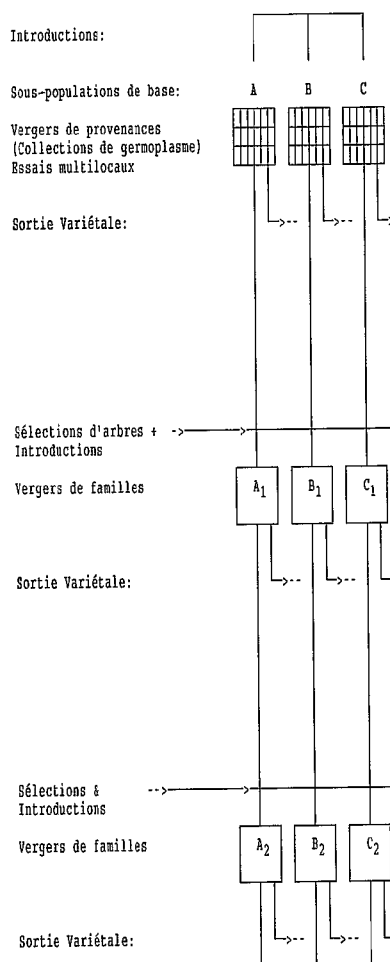
milieux, plutôt que d'évaluer dans peu de stations un grand nombre de caractères dont on ne connaît pas l'expression dans des milieux variés.

L'évaluation multilocale est délicate, fastidieuse et surtout onéreuse. Il est par conséquent approprié de combiner cette évaluation avec d'autres phases du programme, comme la mise en place de vergers à graines de provenances dans un premier temps, puis de vergers de descendance dans un second temps, à partir des descendance des arbres « plus » sélectionnés dans les premiers vergers. Dans chacune des quatre zones bioclimatiques, le programme d'amélioration du FOFIFA-CIRAD travaille sur deux sites d'expérimentations destinés à dupliquer les populations de base pour se protéger des risques divers (feux, cyclones...).

La stratégie adoptée conduit aussi à opérer par populations multiples, ce qui présente l'avantage de développer des sous-populations qui sont autant de vergers à graines distincts, localisés en des sites différents ou soumis à diverses sélections de caractères. Elle vise ainsi à obtenir, à moindres frais, des génotypes se rapprochant des idéotypes retenus pour satisfaire les besoins de la foresterie de la région ; ce qui se fait simplement par sélection récurrente à chaque génération.

On trouvera résumées, dans les figures 2 et 3, les grandes étapes de la sélection récurrente par populations multiples. Ce schéma reste des plus classiques et présente l'avantage d'être facile à mettre en œuvre, à développer et à suivre dans les quatre zones bioclimatiques. Il s'agit tout simplement de capturer le maximum d'effets additifs et d'accumuler des gènes d'intérêt agronomique dans une même variété synthétique, sous l'action combinée d'une forte sélection et de la panmixie par pollinisation libre.

Figure 3. Sélection récurrente par populations multiples constituées de vergers à graines.
 Recurrent selection strategy using multiple populations with breeding seedling orchards.



LES DISPOSITIFS DES VERGERS À GRAINES

Tous les essais de provenance installés à Madagascar ont été étudiés pour leur variabilité génétique à l'aide de mesures morpho-agronomiques (hauteur, diamètre à 1,30 m, rectitude, nombre de branches, fourchage). Pour toutes les espèces concernées, essentiellement des *Eucalyptus spp.*, la variabilité intraprovenance est plus forte que la variabilité interprovenances (LEBOT, RANAIVOSON, 1994). Les

études portant sur la diversité des populations naturelles d'*Eucalyptus*, *Acacia* et *Casuarina spp.* indiquent que la plupart de ces espèces exhibent aussi, dans leurs aires d'origine, une variabilité intrapopulation régulièrement plus forte que la variabilité interpopulations (MORAN, 1992). Par ailleurs, ces études ont montré qu'à la différence des casuarinas qui sont anémophiles et dioïques, les eucalyptus et acacias sont tous entomophiles et à allogamie prédominante avec, pour les acacias, des taux d'auto-incompatibilité beaucoup plus importants que pour les eucalyptus qui présentent des risques non négligeables d'au-

tofécondation (KENRICK, KNOX, 1989 ; MORAN *et al.*, 1989a ; MORAN *et al.*, 1989b ; MORAN, 1992). On observe, par conséquent, une bonne concordance entre la variabilité mesurée en plantation et la diversité génétique mesurée à partir des fréquences alléliques dans l'aire d'origine. Il semble judicieux d'adopter un dispositif permettant d'exploiter ces connaissances sur la génétique des populations naturelles et permettant une appréciation facile de la variabilité intrapopulation et, si possible, une forte sélection phénotypique des individus.

Les dispositifs des vergers à graines doivent permettre de se rapprocher de la panmixie théorique et donc de respecter les contraintes de répartition spatiale des géniteurs au sein du verger. Ils doivent aussi rendre possibles de fortes sélections intraprovénance ou intrafamille sans perturber cette répartition spatiale. Il s'agit de combiner au sein d'un

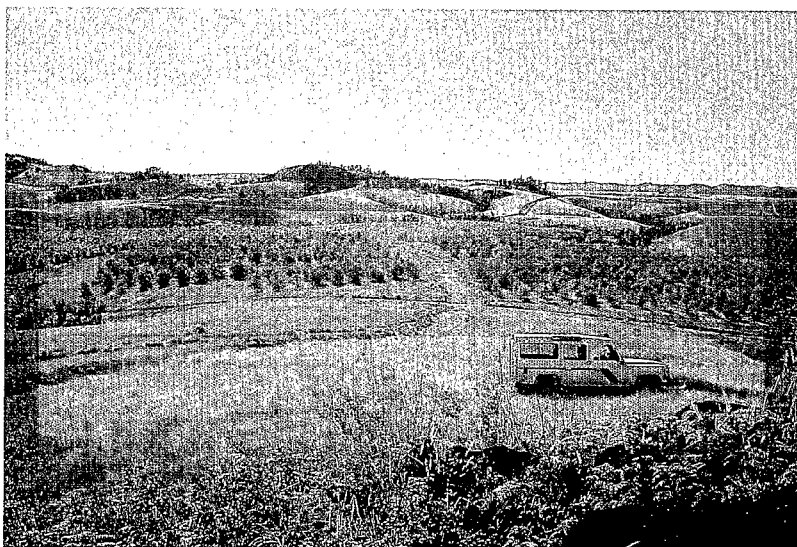
même dispositif plusieurs fonctions sans en compromettre aucune. De façon idéale, les vergers comportent un nombre égal de parcelles carrées par provenance ou famille. L'écartement entre individus est le même sur toute la superficie du verger et la disposition des parcelles est totalement aléatoire. Les densités initiales sont, bien sûr, directement dépendantes des densités finales que l'on souhaite obtenir pour permettre un fort développement des houppiers, c'est-à-dire 7 m en tous sens pour des semenciers dont la pollinisation sera essentiellement entomophile.

Nous avons délibérément opté pour une grande simplicité du dispositif qui réduit les coûts de mise en place et les risques d'erreur lors des éclaircies ou de la collecte et de l'analyse des données. Ce dispositif expérimental permet des évaluations précises et des comparaisons rigoureuses des traitements. Il s'agit dans tous les cas de blocs équilibrés, complets ou incomplets. Les parcelles ex-

périmentales sont constituées de 9 à 36 arbres, plantés à écartements variables selon les espèces, les vergers ou les sites (de 1,5 à 4 m). Les surplus de pépinière sont mis en parcelles conservatoires autour des essais. La figure 4 présente l'un des nombreux blocs d'un verger (de 6 à 16 habituellement), constitué de 16 provenances. Le verger procure donc suffisamment d'informations pour éliminer les provenances (ou les familles) les moins intéressantes et permet ainsi un gain de temps et d'argent.

LES ÉCLAIRCIES

À l'âge de un an, les vergers à graines sont soumis à des éclaircies qui éliminent 50 % des effectifs des parcelles. Les sélections précoces (< 1-2 ans) consistent surtout à effectuer des éclaircies sanitaires, c'est-à-dire à éliminer des individus indésirables, plutôt qu'à sélectionner les meilleurs. Puis entre deux et quatre ans, les parcelles subissent des éclaircies génétiques plus faciles à réaliser puisqu'il est décidé, a priori, de conserver au moins un semencier par parcelle ; parfois on en conserve deux ou trois dans le cas d'un verger de provenances où les risques de consanguinité sont minimes, mais un seul et unique semencier par parcelle dans le cas d'un verger de descendances, pour éviter tout risque de consanguinité entre semenciers voisins. Les descendances utilisées en génération 2 résultent des croisements par pollinisations libres entre les meilleurs arbres issus des sélections phénotypiques intraprovénance. On admet que la population réelle des pères est très variable, puisqu'ils proviennent de multiples provenances, et surtout incontrôlable par pollinisation libre. Il est donc difficile de connaître la composition génétique réelle des familles présentes dans les vergers de descendances. Il est probable qu'une partie de la variance



Vue d'ensemble des vergers du site d'Ampitabé dans la zone orientale. Au premier plan, jeune verger d'*Acacia crassicaarpa*.
An overview of the breeding seedling seed orchard at Ampitabé, in the eastern bioclimatic zone. In foreground, a young *Acacia crassicaarpa* seed orchard.



1 1 1 1	4 4 4 4	11 11 11 11	16 16 16 16
1 1 1 1	4 4 4 4	11 11 11 11	16 16 16 16
1 1 1 1	4 4 4 4	11 11 11 11	16 16 16 16
1 1 1 1	4 4 4 4	11 11 11 11	16 16 16 16
5 5 5 5	9 9 9 9	3 3 3 3	10 10 10 10
5 5 5 5	9 9 9 9	3 3 3 3	10 10 10 10
5 5 5 5	9 9 9 9	3 3 3 3	10 10 10 10
5 5 5 5	9 9 9 9	3 3 3 3	10 10 10 10
12 12 12 12	7 7 7 7	14 14 14 14	15 15 15 15
12 12 12 12	7 7 7 7	14 14 14 14	15 15 15 15
12 12 12 12	7 7 7 7	14 14 14 14	15 15 15 15
12 12 12 12	7 7 7 7	14 14 14 14	15 15 15 15
2 2 2 2	13 13 13 13	8 8 8 8	6 6 6 6
2 2 2 2	13 13 13 13	8 8 8 8	6 6 6 6
2 2 2 2	13 13 13 13	8 8 8 8	6 6 6 6
2 2 2 2	13 13 13 13	8 8 8 8	6 6 6 6
1	4	11	16
5	9	3	10
12	7	14	15
2	13	8	6

Figure 4. Bloc d'amélioration lors de la plantation puis à maturité, après éclaircies successives. La densité finale est de 180 à 200 semenciers/ha. La première éclaircie sanitaire est réalisée à l'âge d'un an et élimine 30 à 50 % des individus indésirables. Puis deux éclaircies génétiques sélectionnent les meilleurs individus avant l'âge de la première floraison, soit 4 ou 5 ans selon les sites et les espèces.

A breeding block at plantation time and at sexual maturity after subsequent thinnings. The final density is around 180 to 200 seed producers per ha. The first thinning is conducted at one year of age and aims at eliminating 30 to 50 % of the poor individuals. Two genetic thinnings aim at the selection of the best individuals before the first flowering season, on average 4 to 5 years old according to species and sites.

inter-et intrafamille soit d'origine génétique non additive. La sélection intrafamille sera d'autant plus efficace que les héritabilités seront plus fortes. La sélection combinée individu-famille, dans laquelle le nombre de géniteurs sélectionnés dans chaque famille est proportionnel à

la valeur moyenne de la famille, est nettement plus intéressante mais sa mise en œuvre est plus délicate.

La sélection intraparcelle tient compte des contraintes de répartition spatiale. En outre, les répétitions permettent une distribution homogène

des géniteurs, ainsi que des effectifs relativement équilibrés au sein du verger. Ce principe permet aussi bien de sélectionner le sexe des individus pour les vergers d'espèces dioïques, tels les *Casuarina spp.*, que les individus les plus performants en croissance végétative au



jeune âge, pour les espèces monoïques (*Eucalyptus* et *Acacia spp.*). Le verger d'amélioration repose ainsi sur un principe simple : en sélection, le gain génétique augmente avec le pourcentage de génotypes éliminés. Par conséquent, les dispositifs qui ne contiennent que peu d'individus retardent l'impact de la sélection et vice-versa ; ceux qui contiennent un grand nombre d'individus permettent d'accélérer le processus de sélection, au jeune âge tout au moins.

Ces vergers prennent en considération deux objectifs de la stratégie d'amélioration, à savoir :

- La valorisation des effets additifs, capturés par pollinisation libre et transmissibles par reproduction sexuée. C'est la seule voie permettant de diffuser des gains à grande échelle en milieu villageois.
- L'obtention d'une diversité allélique maximale à partir d'un nombre important de provenances d'origines géographiques. Le choix d'une population de base composée au niveau géographique permet d'accumuler les effets génétiques additifs, les effets de dominance et de possibles effets d'hétérosis interprovenances. De plus, les intercroisements des meilleurs individus conserveront de très forts taux d'hétérozygotie.

LES POPULATIONS ARTIFICIELLES

Il s'agit en fait de gérer de façon dynamique des populations artificielles installées sous forme de collections de germoplasme mais permettant une sortie variétale. L'approche utilisée tient donc compte de la structuration des populations de départ ; on estime qu'en maintenant ces populations exotiques en coévolution avec de nouveaux milieux on leur permet d'exprimer leurs potentialités adaptatives. Il est ainsi possible de maintenir globalement une

fraction importante de la diversité initiale tout en améliorant les caractères agronomiques les plus importants pour la foresterie villageoise de la zone concernée.

Le dispositif vise à réduire les risques d'autofécondation et à favoriser au maximum les combinaisons d'intercroisements. Il est installé en prenant comme hypothèses que chaque provenance, famille ou arbre individuel, fleurira à la même période, aura la même durée de floraison, sera totalement interfertile avec tous ses voisins, produira des quantités équivalentes de graines, aura le même degré d'auto-incompatibilité, aura une croissance et une forme du houppier similaires à celles de ses voisins, etc. Mais ces hypothèses sont rarement vérifiées pour une espèce donnée. La composition des variétés synthétiques varie probablement d'une récolte et d'une année à l'autre, quels que soient les dispositifs mis en place. Les taux d'allo- et d'auto-fécondation ne sont pas seulement fonction du dispositif du verger, des écartements ou du nombre d'individus par famille mais aussi des variations d'ordres biologique et physiologique des génotypes impliqués dans le verger. Si l'hypothèse d'une panmixie proche du modèle théorique est acceptable au sein d'une même provenance, ou pour deux provenances de phénologies florales concordantes, elle ne tient plus pour diverses provenances dont la phénologie florale n'a pas fait l'objet d'une évaluation préalable. En effet, il est probable que des interactions existent entre les facteurs bioclimatiques d'une année donnée et la phénologie florale des différentes provenances, influant directement sur les pollinisations interprovenances et sur la composition de la synthèse destinée à la sortie variétale. La composition de la variété est donc hypothétique et variable d'une année sur l'autre. Il est admis que, même si l'on tient comp-

te des évaluations multilocales, la synthèse obtenue sur chaque site ne représentera pas le gain génétique maximal puisque les meilleurs se retrouveront en mélange avec les moins bons.

LES TRAVAUX EN COURS

Le germoplasme introduit en vergers à graines est mis en place selon un même itinéraire technique. Cet itinéraire technique simple permet d'installer simultanément plusieurs populations de base et d'amélioration d'espèces diverses sans présenter de difficultés majeures (tableau IV).

INSTALLATION DES VERGERS

Pour toutes ces espèces, les techniques de pépinière sont bien maîtrisées par les techniciens qui peuvent ainsi produire de 10 à 30 000 arbres par campagne d'installation et par site d'expérimentation. L'installation suit les mêmes procédures que pour la mise en place d'essais classiques (piquetage, étiquetage des plants, etc.) et se fait toujours sur des terrains labourés en plein au moins deux fois, puis systématiquement pulvérisés. Le travail préparatoire du sol vise aussi à détruire le tapis graminéen des savanes à *Aristida* ou *Philippia spp.*, sans utiliser d'herbicide. La plantation à haute densité ramène à environ trois sarclages les travaux de désherbage à réaliser avant la couverture du sol par les jeunes arbres, au bout de deux ans. Les terrains sélectionnés correspondent toujours à des sols très dégradés, généralement acides et peu fertiles. Les vergers sont plantés et entretenus sans fertilisation d'appoint de manière à reproduire au mieux les conditions réelles d'utilisation des variétés. L'entretien des vergers reste minime une fois les semenciers définitivement sélectionnés ; il consiste à entretenir des

TABLEAU IV
GERMOPLASME INTRODUIT EN VERGERS À GRAINES

Site	Espèce	Type	ha
ANSTIRINALA zone centrale	<i>E. cloeziana</i>	6 prov.	0,4
	<i>E. grandis</i>	24 desc.	1,2
	<i>E. muellerana</i>	8 prov.	0,3
	<i>E. robusta</i>	16 prov. et 13 desc.	7,4
AMPITABE zone orientale	<i>A. aulacocarpa</i>	9 prov.	3,5
	<i>A. auriculiformis</i>	18 prov.	4,0
	<i>A. crassicarpa</i>	34 prov.	5,2
	<i>A. mangium</i>	12 prov.	1,2
	<i>E. cloeziana</i>	29 prov.	2,5
	<i>E. grandis</i>	34 desc.	5,4
	<i>E. maculata</i>	10 prov.	1,2
	<i>E. microcorys</i>	16 prov.	1,1
	<i>E. resinifera</i>	14 prov.	1,5
	<i>E. robusta</i>	22 prov. et 25 desc.	5,6
	<i>E. tereticornis</i>	20 prov.	4,3
	<i>Tectona grandis</i>	50 desc.	0,5
IVOLOINA zone orientale	<i>Casuarina cunninghamiana</i>	10 prov.	1,0
	<i>Cedrela odorata</i>	25 prov.	2,1
	<i>A. mangium</i>	12 prov.	0,5
	<i>E. grandis</i>	25 desc.	1,0
	<i>E. robusta</i>	25 desc.	1,3
ANARAFALY zone méridionale	<i>E. tereticornis</i>	20 prov.	3,0
	<i>E. camaldulensis</i>	22 prov.	4,8
	<i>A. albida</i>	24 prov.	1,5

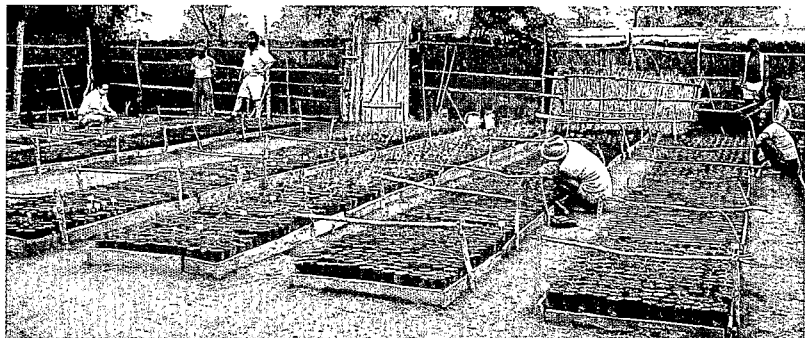
espèces d'eucalyptus et d'acacia. La variabilité intra est régulièrement la plus forte et permet ainsi une sélection individuelle facile à l'intérieur de chaque parcelle.

Les résultats d'un premier cycle de sélection récurrente d'*Eucalyptus robusta* sont encourageants. Les descendances d'arbres « plus » sélectionnés à 48 mois dans le verger de provenances n° 76 sont comparées à la meilleure provenance de ce verger, qui est la provenance *Cooperbrook* utilisée comme témoin dans le verger de descendances n° 105. Les résultats obtenus par ces descendances, mesurées à 20 mois et installées dans les mêmes conditions pédo-climatiques, montrent que l'approche utilisée permet d'obtenir très facilement des gains par pollinisation libre. De fortes variabilités intra-descendance sont conservées (tableau V). Elles permettent de sélectionner aisément les meilleurs individus de ces descendances installées en placeaux de 16 arbres pour le cycle suivant. Quatre familles de demi-frères *Cooperbrook* présentent déjà à 20 mois des résultats, en moyenne, différents. La moyenne générale des quatre familles est supérieure à celle de la provenance de départ et, s'il est vrai que deux familles sont au-dessous de cette moyenne, il est très facile de les éliminer ou de se débarrasser des individus médiocres. Des analyses de plusieurs essais

routes et pare-feu périphériques et à installer des plantes de couverture (*Pueraria spp.* par exemple) sur les périmètres extérieurs de façon à éviter les dégâts occasionnés par les feux de brousse.

On trouvera présentées dans le tableau V, p. 32, les comparaisons des coefficients de variation inter-et intratraitements, provenances ou descendances (CARSUZAA, 1994 ; RAZAFIMAHARO, 1995) pour diverses

Pépinière à la station expérimentale d'Anarafaly, située dans la région aride au sud de l'île.
A nursery at Anarafaly experimental site, located in the southern arid zone.





Labour et destruction du tapis graminéen à *Aristida* spp. Site d'Ampitabé.
Ploughing and suppressing the grasslands with *Aristida* spp. at Ampitabé, eastern bioclimatic zone.

de provenances et de descendances, mesurés de un à cinq ans sur le même site d'expérimentation, ont montré que les corrélations juvéniles-adultes sont fortes (LEBOT, RANAIVOSON, 1994) et permettent de sélectionner à un an sans grands risques d'erreur.

Chez les eucalyptus, on observe de grandes variations dans les époques de floraison des individus de provenances, de familles ou de clones différents. A Madagascar par exemple, presque aucun des arbres « plus » sélectionnés sur indice de volume ($d^2 \times h$) n'a fleuri durant les deux premières florai-

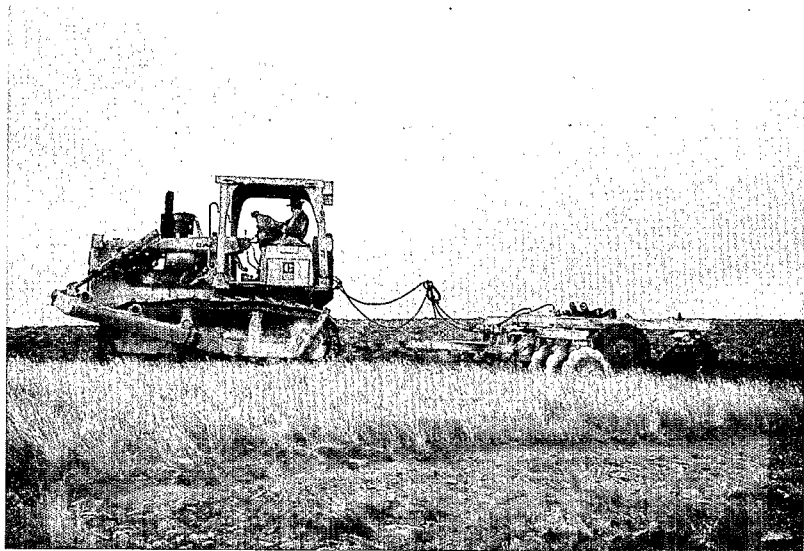
sons d'un verger à graines de provenances d'*E. robusta*. Puisque, dans certains cas, près de la moitié d'un verger peut ne pas être en fleurs à la bonne saison, il semble désormais admis de planter dans chaque verger un nombre de génotypes supérieur à celui prévu initialement.

TABLEAU V
COMPARAISON DES COEFFICIENTS DE VARIATION PHÉNOTYPIQUES
INTER- ET INTRAPROVENANCES OU INTERDESCENDANCES

Espèce	Type	Age (mois)	CVp % inter	Hauteur intra	CVp % inter	Diamètre intra
<i>E. cloeziana</i>	6 prov.	20	22,9	20,4	26,6	34,4
<i>E. grandis</i>	12 desc.	60	32,2	24,4	24,2	28,1
<i>E. maculata</i>	8 prov.	14	9,7	16,7	11,2	19,5
<i>E. microcorys</i>	12 prov.	55	13,7	16,0	11,3	22,5
<i>E. muellerana</i>	8 prov.	20	2,8	34,2	43,7	85,4
<i>E. resinifera</i>	9 prov.	57	7,6	14,1	6,8	18,5
<i>E. robusta</i>	16 prov.	48	20,1	24,4	27,8	27,9
<i>E. robusta</i>	12 desc.	20	14,9	24,0	21,2	46,4
<i>A. auriculiformis</i>	18 prov.	5	8,4	20,9	9,8	18,4
<i>A. crassicarpa</i>	10 prov.	14	15,7	14,4	20,4	26,4
<i>A. dealbata</i>	7 prov.	29	15,8	32,8	16,6	44,0
<i>A. mangium</i>	8 prov.	65	12,3	20,1	12,1	27,7
<i>A. mearnsii</i>	11 prov.	28	12,9	30,1	17,9	47,1



Disquage du labour et destruction du tapis graminéen à *Aristida* spp. Site d'Ampitabé.
 Disking after the second ploughing, finalizes the complete suppression of the gramineous mat with *Aristida* spp. at Ampitabé.



Les eucalyptus présentent des fleurs très accessibles à un grand nombre d'espèces de vecteurs polliniques. Les vergers d'eucalyptus sont donc basés sur des pollinisations entre plus proches voisins comme c'est le cas pour de nombreuses espèces fruitières. Mais l'hétérogénéité des floraisons entre individus de familles ou de provenances différentes est tellement marquée qu'il est prudent de multiplier les combinaisons de voisinages et donc de répéter autant que possible les traitements au sein des dispositifs.

LA POLLINISATION LIBRE

La pollinisation libre permet des brassages et des recombinaisons qui peuvent éventuellement donner des individus extraordinaires qu'il conviendra de sélectionner. Selon le nombre de génotypes impliqués, le brassage des gènes augmente la variabilité génétique que l'on pourra toujours réduire à volonté. Lorsque des variétés synthétiques produites en panmixie sont constituées d'un grand nombre de génotypes différents, le gain escompté reste tout de même modéré. L'approche adoptée consiste donc à limiter ses ambitions

au niveau de l'ampleur du gain, notamment pour les caractères de croissance, pour favoriser la plasticité qui permettra à ce modeste gain d'être conservé dans des milieux variés et soumis à diverses agressions.

La synthèse de génotypes en verger est aussi beaucoup moins onéreuse que la voie clonale : bon nombre d'études comparatives de coûts ont déjà été faites. A Madagascar par exemple, le coût moyen de la mise en place d'un hectare de verger à graines d'amélioration avoisine les 2 000 FF, ce qui est tout à fait raisonnable compte tenu de l'importance de ce matériel végétal pour l'avenir des programmes d'amélioration. Il est donc probable que les dispositifs de pollinisation libre seront encore très largement utilisés.

Les vergers à graines de provenances installés dans le cadre du projet FED permettent donc de gérer de façon dynamique la variabilité génétique de ces populations artificielles. Ces populations bénéficient d'un fort potentiel d'adaptation que l'on exploite en installant les vergers dans des zones bioclimatiques et des sites variés. Il est clair que pour une espèce donnée, l'*Eucalyptus robusta* par exemple, les provenances sélection-

nées à basse altitude sur la côte est sont différentes de celles qui conviennent à la zone centrale d'altitude. Au sein d'une même provenance, *Cooperhooke* par exemple, la sélection des arbres « plus », destinés à produire les descendances du cycle suivant, se fera forcément en fonction des effets du milieu. Il est donc essentiel de poursuivre la multilocalisation de ces populations autant que pos-



Jeune verger de descendances d'*Eucalyptus grandis* âgé de 4 mois. Site d'Ampitabé.
 Young *Eucalyptus grandis* progeny seedling seed orchard, four months old, at Ampitabé.





Jeune verger de provenances d'*Acacia mangium* âgé de 7 mois. Site d'Ivoloina.
A young *Acacia mangium* provenance seedling seed orchard, seven months old, at Ivoloina.

sible pour pouvoir produire des sorties variétales très localisées.

Le projet FED 6 ACP MAG 84 a permis d'obtenir bon nombre de résultats encourageants et de vérifier ainsi la validité de l'approche adoptée pour développer un programme d'amélioration génétique correspondant aux besoins du développement de la foresterie villageoise malgache. Les premiers résultats obtenus à Madagascar montrent qu'il est tout à fait possible de mener de front plusieurs programmes d'amélioration, concernant différentes espèces dans des milieux variés avec des moyens relativement limités. Ces programmes représentent autant de domaines de recherche pour les jeunes chercheurs nationaux, dans le cadre de leur formation, et les dispositifs ainsi installés

représentent autant d'expérimentations nécessaires à leurs recherches. Un nombre important de vergers de descendance sera mis en place prochainement pour poursuivre les cycles de sélection récurrente initiés par la mise en place des vergers de provenances. Ces vergers de descendance devraient permettre d'atteindre un potentiel de production de graines forestières suffisant pour satisfaire les besoins de la foresterie malgache en matériel génétiquement amélioré, à court et à moyen terme. □

▷ Vincent LEBOT
Mission connaissance
et amélioration des plantes
CIRAD
B.P. 5035
MONTPELLIER CEDEX 1
France

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BOUVET J. M., ANDRIANIRINA G., 1990.
Eucalyptus grandis à Madagascar. Potentialités, bilan et orientations des travaux d'amélioration génétique. Bois et Forêts des Tropiques, 226 : 5-19.
- CARSUZAA S., 1994.
Etudes des performances d'Acacias australiens à Madagascar. Mémoire de fin d'études de l'ISTOM. Cergy-Pontoise.
- CHAUVET B., 1968.
Inventaire des espèces forestières introduites à Madagascar. Antananarivo, ENSA, 187 p.
- KENRICK J., KNOX R. B., 1989.
Quantitative analysis of self-incompatibility in trees of seven species of *Acacia*. J. Hered., 80 : 240-245.
- LEBOT V., 1992.
Amélioration génétique des espèces feuillues exotiques à Madagascar. Antananarivo, FOIFA/D.R.F.P., rapport annuel, 72 p.
- LEBOT V., 1994.
Le programme d'amélioration génétique des espèces feuillues exotiques à Madagascar. Antananarivo, CIRAD-Forêt-FOIFA/D.R.F.P., rapport final, 74 p.
- LEBOT V., RANAIVOSON L., 1994.
Eucalyptus genetic improvement in Madagascar. Forest Ecology and Management, 63 : 135-152.
- MORAN G. F., BELL J. C., TURNBULL J. W., 1989a.
A cline in genetic diversity in river she-oak *Casuarina cunninghamiana*. Aust. J. Bot., 37 : 169-180.
- MORAN G. F., MUONA O., BELL J. C., 1989b.
Breeding systems and genetic diversity in *Acacia auriculiformis* and *A. crassicaarpa*. Biotropica, 21 : 250-256.
- RANAIVOSON A. L., 1993.
Eucalyptus robusta à Madagascar, Contribution à l'étude de son amélioration génétique. Thèse de Doctorat, option Ecologie Forestière, Université d'Antananarivo, 252 p.
- RAZAFIMAHARO V., 1995.
Résultats des expérimentations du programme d'amélioration génétique des feuillues. Antananarivo, D.R.F.P./FOIFA.
- RAZANAKA S. J., 1989.
Délimitation des régions de provenance pour les semences forestières à Madagascar. D.E.A. option écologie forestière, Université d'Antananarivo, 62 p.
- SUTTER E., RAKOTONOELY J., 1990.
Introductions d'espèces exotiques à Madagascar. Projet d'inventaire des ressources ligneuses, 7 vol. Antananarivo, M.R.S.T.D.-FOIFA-D.R.F.P., 831 p.



R É S U M É

L'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE DES FEUILLUS EXOTIQUES À MADAGASCAR

L'amélioration génétique des feuillus exotiques à Madagascar se fait en combinant l'étude de la variabilité intraspécifique, l'évaluation multilocale et la sortie variétale destinée aux reboisements villageois. L'amélioration de diverses espèces peut être menée de front compte tenu de leurs caractéristiques communes. Ces espèces sont toutes à allogamie prédominante et présentent une forte variabilité intrapopulation. Le dispositif utilisé pour les vergers à graines permet une forte sélection intraprovenance et intradescendance, une comparaison rigoureuse des traitements et une sortie variétale synthétique obtenue par panmixie. La gestion dynamique de ces populations permet d'introduire et de conserver d'importantes ressources génétiques essentielles pour la poursuite du programme. L'amélioration par cycles de sélection récurrente et recombinaisons successives a pour but de capturer des effets additifs et d'accumuler des gènes d'intérêt agronomique. Les variétés à large base génétique correspondent aux idéotypes retenus pour les reboisements villageois qui nécessitent des génotypes rustiques, plastiques et d'une croissance vigoureuse au jeune âge. Les premiers résultats obtenus confirment l'adéquation entre les contraintes existantes, les moyens disponibles et la stratégie d'amélioration adoptée.

Mots-clés : Amélioration des plantes. Peuplement semencier. *Eucalyptus* spp. *Acacia* spp. Madagascar.

A B S T R A C T

GENETIC IMPROVEMENT OF EXOTIC BROAD-LEAVED SPECIES IN MADAGASCAR

The genetic improvement of exotic broad-leaved species in Madagascar is obtained by combining the study of intraspecific variability, multilocal evaluation and the varietal production intended for village reforestation. The improvement of various species can be carried out simultaneously owing to their common characteristics. These species are all predominantly allogamous and exhibit significant intrapopulation variability. The system used for seedling seed orchards allows strong intraprovenance and intraprogeny selection, a rigorous comparison of treatments and synthetic production obtained by panmixis. Dynamic management of these populations allows the introduction and conservation of significant genetic resources essential for the continuation of the programme. Improvement by recurrent selection cycles and successive recombinations is aimed at using additive effects and accumulating genes of agronomic value. Varieties with a large genetic base correspond to ideotypes adopted for village reforestation requiring rustic, plastic genotypes with vigorously juvenile growth. The first results obtained confirm the suitability between existing constraints, available resources and the adopted improvement strategy.

Key words : Plant breeding. Seed orchard. *Eucalyptus* spp. *Acacia* spp. Madagascar.

R E S U M E N

MEJORAMIENTO GENETICO DE LAS FRONDOSAS EXOTICAS DE MADAGASCAR

El mejoramiento genético de las frondosas de Madagascar se efectúa por la combinación del estudio de la variabilidad intraespecífica, la evaluación multilocal y la salida varietal con destino a las repoblaciones campesinas. El mejoramiento de diversas especies puede ser llevado a cabo con simultaneidad, habida cuenta de sus características comunes. Todas estas especies son de alogamia predominante y presentan un grado elevado de variabilidad intrapoblacional. El dispositivo utilizado para los rodales semilleros permite una destacada selección entre procedencias y entre descendencias, una rigurosa comparación de los tratamientos y una salida varietal sintética conseguida por panmixión. La gestión dinámica de estas poblaciones permite introducir y conservar importantes recursos genéticos, que son de primordial importancia para la prosecución del programa. El mejoramiento por ciclos de selección recurrente y recombinaiones sucesivas tiene por objeto conseguir los efectos aditivos y acumular los genes de interés agronómico. Las variedades de amplia base genética corresponden a los ideotipos adoptados para las repoblaciones campesinas que precisan genotipos rústicos, plásticos y de crecimiento vigoroso en las primeras edades. Los resultados preliminares obtenidos vienen a confirmar la adecuación existente entre los imperativos existentes, los medios disponibles y la estrategia de mejoramiento adoptada.

Términos clave : Fitomejoramiento. Rodal semillero. *Eucalyptus* spp. *Acacia* spp. Madagascar.



SYNOPSIS

GENETIC IMPROVEMENT OF EXOTIC BROAD-LEAVED SPECIES IN MADAGASCAR

VINCENT LEBOT

Deforestation and general land degradation have resulted in fuel-wood and timber supply problems for the ever-growing population of Madagascar. The endemic species are slow in growth and are unable to respond to the rural population needs. Exotics (*Eucalyptus* and *Acacia spp.*) have been outstandingly successful introductions but there is now an urgent need to strengthen the exotic genetic improvement programme in view of the concern for the environment. The origin of the genetic material presently cultivated is unknown and several local provenances are exhibiting inbreeding depression. It is essential that reforested areas should be planted with genetically improved material. If national structures, aiming at producing genetically improved forestry seeds are not developed, there is the potential risk of future environmental deterioration. Madagascar is ecologically highly diversified and four major bioclimatic zones are identified. The climatic variation includes a sub-equatorial zone in the northeast with 3 500 mm of annual rainfall, a subtropical zone on the east coast with frequent cyclones, low rainfall and temperatures, with occasional frost on the densely populated highlands and temperate arid and semi-arid zones with erratic rainfall in the extreme southwest. Forestry research was initiated 20 years ago and aimed at selecting species and provenances adapted to these diverse climatic conditions.

THE IMPROVEMENT STRATEGY

The present paper discusses the improvement strategy for exotics which take into consideration regional needs for reforestation, smallholder ideotypes, seed production and environmental requirements. Farmers are seeking genotypes with good coppicing ability, a thick bark for fire resistance, juvenile vigour and performance and volume production for fuel-wood and charcoal. Requirements of village plantations can be satisfied using recurrent selection of the best individuals in the best provenances, followed by open-pollinated recombinations in progeny breeding orchards. It is thought that synthetic varieties with a broad genetic base produce the required plasticity to respond to smallholder plantations. Genotype X environment interaction being important, it appears necessary to breed for similar traits (fast growth and wood volume) in different environments using multiple-population breeding. In the case of Madagascar, a sub-population is a breeding seedling orchard located in a different bioclimatic zone. The strategy presently implemented aims at introducing various provenances for the main 24 species. These are preserved in breeding orchards and represent the germplasm collections necessary for base populations.

THE ON-GOING DEVELOPMENT PROJECT

A project funded by EEC (project FED 6 ACP MAG 84) is establishing over 60 ha

of breeding orchards in the major bioclimatic zones of Madagascar (eastern, central, western and southern). Provenances and families seedlots are introduced from Australia via CSIRO and CIRAD-Forêt. The breeding orchards used for this strategy (1-4 ha) comprise 12-36 RCBs with 12-24 provenances in each block and 9 to 36 trees per plot. The initial spacing of 1.5 to 3 m (1,111 to 4,444 trees per ha) allows severe selection (1/9, 1/16 to 1/36) within progeny or provenance, by year 4 of age. Rogueing is presently conducted at 1, 2 and 4 years of age. After individual rogueing and genetic selection, the final density is about 256 trees per ha. The use of high density plots permits the combination of orchard establishment and provenance or progeny tests with conventional RCBs. The final spacing is 7 m, in all directions and bee hives are introduced into orchards in order to avoid accidental self pollination. Only seed producers remain in each plot, and these are used to initiate the following breeding population. In fact, this approach combines across-sites evaluation, provenance tests and seed production in order to be cost efficient. The first results obtained by this EEC project demonstrate that it is possible to conduct simultaneously the genetic improvement of various species in different bioclimatic zones without exceeding costs. This is due to the common characteristics of these exotic species which are all allogamous and exhibit significant intra-population variability.