

ETUDE

Etude de comportement des espèces
principales de reboisement en fonction
des différents types de sol des Hautes-
Terres Centrales

Résultats du suivi des placettes permanentes
d'observation dans la région d'Ambatofotsy -
Atsimondrano

Ruedi FELBER
Gérard RAMBELOARISOA

EXPERIMENTATION

FORESTERIE PAYSANNE



ETUDE EXPERIMENTATION

Etude de comportement des espèces principales de reboisement en fonction des différents types de sol des Hautes- Terres Centrales

Résultats du suivi des placettes permanentes
d'observation dans la région d'Ambatofotsy -
Atsimondrano

Ruedi FELBER
Gérard RAMBELOARISOA

FORESTERIE PAYSANNE
Numéro 3



Décembre 1994

Préface

Le Département Expérimentation du Centre FAFIALA publie ses résultats de recherche principalement sous les deux formes suivantes:

- Rapport - Note de Parcours
- Etude Expérimentation

Les *Rapports - Notes de Parcours* se veulent être des supports de discussion et d'information sur un thème précis ou sur les résultats intermédiaires d'une recherche.

Les *Etudes Expérimentation* font la synthèse des études plus approfondies et sont considérées comme une présentation "scientifique" des résultats de recherche. Le Centre FAFIALA les utilisent comme base pour l'élaboration de ses outils de diffusion (outils paysans, fiches techniques, ...).

Les Etudes sont soumises à un Comité de Lecture qui les apprécie en émettant des suggestions pour l'amélioration de leur qualité.

La Direction du Centre FAFIALA tient à remercier au Comité de Lecture qui a été composé pour la présente étude de:

Monsieur Daniel Razakanirina, Département des Eaux et Forêts de L'ESSA et
Président du Comité Aviseur Technique du Centre FAFIALA;

Monsieur Roger Razafindratsita, FOFIFA / DRZV;

Monsieur Jean-Pierre Sorg, Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich;

Monsieur Jean-Pierre Bouillet, FOFIFA / DRFP et Département Forestier CIRAD -
Forêt Madagascar;

Monsieur Jean-Marie Samyn, Cellule d'Appui du Programme Foresterie et
Développement Paysans.

Table des matières

Résumé	i
1. Introduction	1
2. Matériel et méthode	2
2.1. Réalisation du reboisement dans la zone étudiée	2
2.2. Dispositif de suivi à l'aide de placettes permanentes d'observation	3
2.3. Paramètres de mesure et d'observation	4
2.4. Présentation des résultats	5
3. Description de la zone d'étude	6
3.1. Situation	6
3.2. Climat	6
3.3. Géologie et géomorphologie	11
3.3.1. Formations géologiques	11
3.3.2. Géomorphologie	13
3.4. Sols des tanety des Hautes-Terres Centrales	14
3.4.1. Caractérisation des sols	14
3.4.2. Relations entre la végétation et les sols	15
3.4.3. Types de sols	16
3.5. Unités morphopédologiques	23
4. Présentation des espèces de reboisement et les résultats de leur comportement en fonction des différents types de sols dans la région d'Ambatofotsy	26
4.1. <i>Pinus kesiya</i>	26
4.2. <i>Pinus elliotii</i>	29
4.3. <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	32
4.4. <i>Eucalyptus robusta</i>	35
4.5. <i>Eucalyptus grandis</i>	38
4.6. <i>Callitris sp.</i>	40
4.7. <i>Acacia dealbata</i>	43
4.8. <i>Casuarina cunninghamiana</i>	45
4.9. Autres espèces	47
5. Conclusions et recommandations	48
Bibliographie	56
Annexes	58

Résumé

Les reboisements sur les Hautes-Terres Centrales sont confrontés, sans parler des problèmes socio-économiques (foncier, feux de brousse, ...), à des conditions pédo-climatiques contraignantes (aléas du régime pluviométrique, pauvreté des sols), défavorables à une foresterie paysanne productive.

Malgré les grands efforts pour l'identification des essences forestières adaptées, le choix reste limité à quelques espèces de genres *Eucalyptus* et *Pinus*. Les autres espèces ayant une capacité de régénération du sol, par exemple fixatrices d'azote, semblent être trop exigeantes.

Après une description détaillée des types de sols et une présentation des unités morphopédologiques, caractérisant le paysage des Hautes-Terres Centrales, cette étude présente le comportement des principales espèces de reboisement dans une zone, située à une vingtaine de kilomètres au Sud de la Capitale malgache.

Sur la base des observations effectuées dans un dispositif de placettes permanentes, le comportement de huit espèces a été analysé en fonction des types de sol, qui relèvent en majorité des sols ferrallitiques.

En général, il ressort que les taux de croissance sont faibles. Les espèces les plus adaptées sont *Eucalyptus camaldulensis* et *Pinus kesiya*. Pendant que les pins sont à planter de préférence sur les versants à pente moyenne à forte (sols ferrallitiques rajeunis, sols peu évolués), les eucalyptus aiment mieux les stations à faible pente (sols ferrallitiques typiques à structure polyédrique et à structure moyennement dégradée). Malgré ces recommandations techniques, les paysans optent pour le choix d'eucalyptus, qui est apprécié pour sa résistance aux feux et la possibilité d'exploitation en taillis.

A l'état actuel de connaissance, des recommandations destinées pour la diffusion ont été faites quant au choix d'espèces par rapport aux stations des tanety, à l'élevage en pépinière et aux techniques de préparation du sol.

En matière de recherche appliquée, des efforts devraient être poursuivis dans le cadre:

- des essais de provenances (pour *Eucalyptus camaldulensis* par exemple);
- de l'extension du choix d'espèces frugales (rustiques);
- des techniques de préparation de sols;
- des essais d'inoculation.

1. Introduction

Les Hautes-Terres Malagasy sont de loin les plus déforestées du pays, ceci consécutivement à diverses actions anthropiques amplifiées par les conditions climatiques agressives. La couverture forestière originelle, constituée par "la forêt à mousse et à sous bois herbacée" de PERRIER DE LA BATHIE (1921) ou "Forêt dense ombrophile (série à Tambourissa et Weinmannia" de HUMBERT (1965), qui est une formation très vulnérable, a pratiquement disparu. Elle n'est plus représentée que par quelques reliques situées dans des régions abritées et sur des collines sacrées.

De vastes étendues, recouvertes de "bozaka" ont succédé à ces forêts, offrant un paysage de pseudo-steppe. L'utilisation du bozaka et de bouse de vache comme combustible était déjà pratiquée vers la fin de la Royauté aux environs de la capitale. Une démographie galopante et la pratique du feu de brousse ont rendu la situation très critique.

Les premiers travaux de reboisement, en particulier ceux du Tampoketsa, ont débuté au lendemain de la colonisation en 1896 suite à une mission forestière conduite par Giraud GENET (RAMANANTSOAVINA G., 1973).

Des recherches portant sur les espèces exotiques à croissance rapide furent entamées dans des arboreta. Les Eucalyptus et Pinus se sont distingués par leur bonne adaptation et font depuis lors partie du paysage des Hautes-Terres Centrales.

Malgré ces efforts de reboisement, de vastes étendues restent encore la proie du feu et de l'érosion surtout dans la grande périphérie de la Capitale, alors que cette zone doit faire face à la

demande de plus en plus forte en bois d'énergie.

Dans le but de protéger les bassins versants de l'Ikopa et de la Sisaony, le Projet d'Appui au Reboisement Villageois (PARV) a été mis sur pied dans la région d'Ambatofotsy en 1984. Cette action a constitué une innovation dans la mesure où pour la première fois à Madagascar un tel travail en matière de reboisement se faisait directement avec des paysans.

En dehors de l'objectif de protection environnementale, les responsables de ce projet ont essayé d'offrir aux paysans une large gamme d'espèces pour couvrir les multiples besoins en bois du milieu rural. Mais conscients de la situation marginale des terres de la région et vu la faiblesse des résultats disponibles, un programme de recherche d'accompagnement a été développé parallèlement aux actions opérationnelles avec notamment l'installation des placettes permanentes d'observations sur différents types de sol.

Sur les quelques 72 espèces exotiques testées, la présente étude se limite à l'analyse des espèces ayant présenté des résultats satisfaisants ou qui méritent d'être approfondis. Il porte sur 3 espèces d'Eucalyptus, 2 espèces de Pinus et 3 autres espèces sur un ensemble de 68 placettes permanentes. Chaque espèce retenue est analysée suivant la morphopédologie et les conditions climatiques de la région dans le dessein de la placer au mieux dans le paysage selon son aptitude. L'objectif final de cette étude est d'offrir des conseils aux paysans et aux opérateurs dans l'arborisation du tanety. Les avis des paysans reboiseurs sont pris en compte dans l'interprétation des résultats pour parvenir à un aménagement harmonieux des tanety.

2. Matériel et méthode

2.1. Réalisation du reboisement dans la zone étudiée

Le reboisement dans la zone d'étude et appuyé par le Projet d'Appui au Reboisement Villageois (PARV) a été initié en 1984. Les 3 Firaisana Ambatofahavalo, Tsararivotra et Ambalavao ont été concernés par le Projet. Le reboisement a été réalisé sur des terrains domaniaux. Après une reconnaissance par le Volet topographique, le terrain a été loti en des carreaux de 26,5 x 26,5 m, ce qui correspond à une surface contenant 100 pieds d'arbres, disposés en quinconce avec un écartement de 2.5 x 2.5 m.

Les lots ont été répartis à titre individuel aux participants selon leur disponibilité et leur besoin sans excéder les 30 lots par campagne par individu.

L'encadrement technique a été assuré par un vulgarisateur par Fokontany. Le Projet a encadré une pépinière centrale par Firaisana, où les plantules ont été produites. Ensuite les jeunes plants ont été distribués aux participants suivant le nombre et les espèces choisies lors de l'inscription. Le repiquage a été fait dans des pépinières volantes chez les reboiseurs dans des pots en plastiques.

Une trouaison de 40 x 40 x 40 cm a été faite à l'angady et lors du rebouchage, une terrasse de 20 cm autour du trou a été pratiquée pour favoriser une infiltration de l'eau.

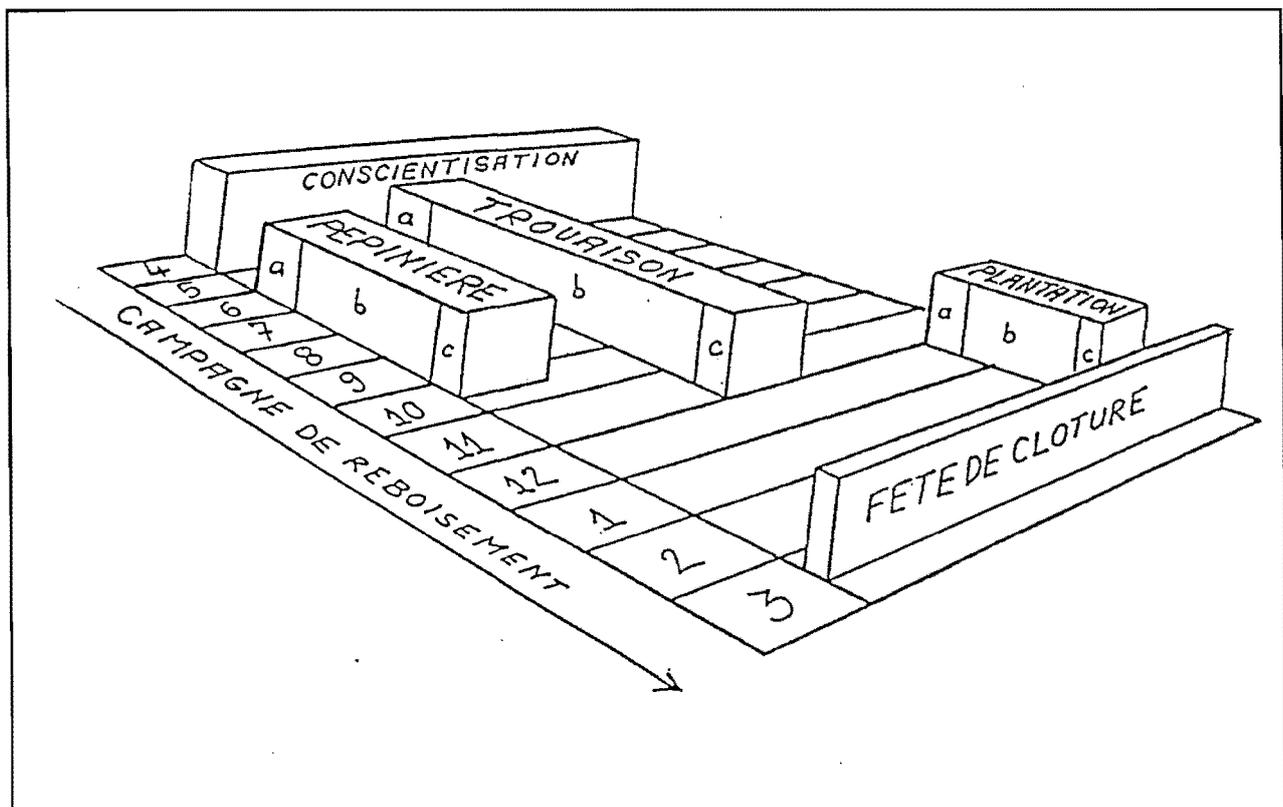


Fig. 1. Calendrier d'une campagne de reboisement du Projet PARV. Après une séance de sensibilisation, chaque activité technique a été précédée par une formation (a). Après la réalisation (b), l'évaluation (c) a été assurée par le Comité de reboisement, composé du Président et de 2 membres du Fokontany. Une fête de clôture a été organisée au niveau de chaque Firaisana à la fin de campagne.

2.2. Dispositif de suivi avec des placettes permanentes d'observation

Les résultats de cette étude se basent sur les mesures et observations relevées dans les placettes permanentes d'observation (PPO). Ces placettes ont été installées, soit dans des lots de reboisement, soit dans des parcelles des trois stations, mises en place par le Projet de Reboisement Villageois (PARV).

Le choix des placettes permanentes d'observation a été fait selon les

critères suivants:

- espèce principale de reboisement;
- représentativité des types de sol;
- conditions homogènes de la station (sol, pente, exposition, couverture végétale, nature de la surface du sol).

Chaque placette de mesure comprend entre 24 et 36 arbres qui se situent à l'intérieur des lots de reboisement de 100 arbres. La bordure se compose de deux lignes d'arbres.

Firaisana	Nombre de placettes permanentes	
	chez paysans	en station
A: Ambatofahavalo	23	Ambatofahavalo-Talata: 14
B: Tsararivotra	10	Ambohimadana-Nord: 10
C: Ambalavao	1	Ambalavao: 10

Tab.1. Nombre de placettes d'observation installées par Firaisana.

Le dispositif d'observation concerne les 8 espèces principales, initialement vulgarisées par le PARV. Pour les autres espèces, le dispositif d'observation comprend 1 à 2 placettes, installées dans les stations d'Ambatofahavalo et d'Ambohimadana-Nord.

Espèce	Nombre de placettes permanentes d'observation
<i>Pinus kesiya</i>	15
<i>Pinus elliottii</i>	5
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	9
<i>Eucalyptus robusta</i>	13
<i>Eucalyptus grandis</i>	6
<i>Callitris sp.</i>	9
<i>Acacia dealbata</i>	5
<i>Casuarina cunninghamiana</i>	6
Total	68

Tab.2. Nombre de placettes pour les 8 espèces principales

Une placette pour chacune des espèces suivantes a été mise en place pour: *Pinus oocarpa*, *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus cameronii*. Le suivi d'autres placettes a été abandonné suite aux

échecs des espèces qui y ont été installées.

Chaque placette a fait l'objet d'une description générale selon une fiche établie (annexe 1) portant sur:

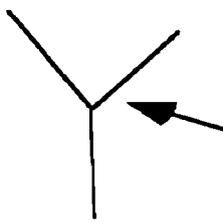
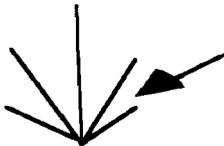
- plan de la zone de reboisement avec repérage des placettes permanentes
- croquis du lot de reboisement avec la numérotation de tous les arbres à mesurer
- espèce
- localisation (fokontany, zone de reboisement, numéro du lot, altitude)
- campagne de reboisement (date de plantation)
- type de sol
- pente (selon 6 classes)
- exposition (selon 8 codes)
- topographie (sommet, versant, replat, dépression)
- nature de la surface du sol (rocheuse, caillouteuse, terre)
- couverture végétale (sol nu, ouverte, fermée)
- croquis et numérotation des arbres à mesurer

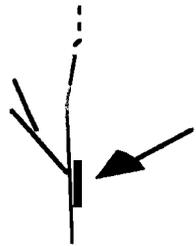
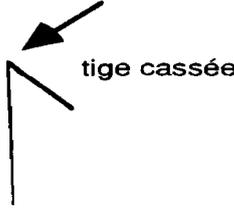
2.3. Paramètres de mesure et d'observation

Les mesures et observations portent sur les paramètres suivants:

- hauteur des arbres, mesurée avec une perche coulissante (précision: 1 dm)
- diamètre à 1.3 m, mesuré avec ruban de couturière pour la circonférence à 1.3 m (précision 1 cm)
Vu le faible nombre d'arbres dépassant la limite inférieure de diamètre de 4 cm, ces résultats ne sont pas encore présentés dans cette étude
- taux de survie, calculé pour chaque campagne de mesure
- l'appréciation de la qualité a été faite lors de la campagne de mesure de juillet/août 1992 selon 7 critères

Fig. 2. Les 7 critères de l'appréciation de la qualité.

Dessèchement de cime (1)	Fourchu (2)	Rejets à la base ou présence de plusieurs tiges (3)	Rectitude (courbé) (4)
			

Chancre (5)	Chétif (6)	Dégât dû au vent (7)
	<ul style="list-style-type: none"> - port arbustif - feuillage jaunes - plant non viable 	

Les différentes placettes ont fait l'objet de plusieurs campagnes de mesure:

- à la plantation;
- campagnes annuelles de mesure durant la saison sèche. L'âge, exprimé en années, correspond au nombre de saisons des pluies (il est pourtant à noter que les mesures n'ont pas été faites systématiquement pour toutes les placettes).

Quelques problèmes rencontrés:

Dans certaines placettes, le mélange de plusieurs espèces du genre *Eucalyptus* a été constaté, dû à des problèmes de qualité de semence. En plus, l'identification botanique du genre *Callitris* n'a pas été possible.

2.4. Présentation des résultats

La brève description de chaque espèce principale et de leur comportement a été faite essentiellement sur la base des fiches monographiques du PIRL (1990).

Les résultats des différentes campagnes de mesure dans la zone d'étude sont présentés par espèce en fonction des types de sol.

La présentation des résultats du dispositif de suivi porte sur la:

- hauteur moyenne en fonction de l'âge;
- taux de survie à l'âge de 5 ans;
- l'appréciation de la qualité.

En annexe 4, ces résultats sont ensuite regroupés par type de sol à l'âge de 55 mois.

Des informations complémentaires sur le comportement des espèces dans la zone d'étude ont été obtenues à travers le suivi d'autres essais mis en place par le Centre FAFIALA dans la zone d'étude (essai de provenance d'*Eucalyptus*, essai d'éclaircie de *Pinus kesiya*, ...). Ces résultats seront brièvement discutés lors de la présentation des espèces.

3. Description de la zone d'étude

3.1. Situation

La zone d'étude se trouve dans le Fivondronana d'Antananarivo-Atsimondrano et est composée par trois Firaïsam-pokontany: Ambatofahavalo, Tsararivotra et Ambalavao (cf. carte 1).

Elle est située à une vingtaine de kilomètres au Sud de la Capitale. La bonne accessibilité est assurée par la route nationale RN 7 (Antananarivo-Antsirabe) et la voie ferrée qui traversent la zone et qui soulignent son caractère péri-urbain.

La zone se trouve sur le versant occidental de la région centrale des Hautes-Terres à une altitude moyenne de 1300 m, culminant à l'Est à des altitudes de 1600 m.

Elle est comprise entre:

19° 01' et 19° 09' de latitude Sud

47° 31' et 47° 39' de longitude Est.

Le paysage est caractérisé par d'importants bas-fonds, situés principalement le long de la Sisaony, des collines à pentes moyennes à fortes qui sont arrondies par des replats plus ou moins vastes. La zone est dominée par des reliefs granitiques qui sont reliés par des reliefs érodés à pentes fortes (= reliefs de dissection) avec les collines et croupes plus basses (cf. 3.5. Unités morphopédologiques).

Les champs sur tanety sont cultivés de manioc, haricot, patate douce, voanjobory et maïs qui sont destinés principalement à l'autoconsommation. Les meilleurs sols en bas de pente et

les baïboho sont mis en valeur par des cultures de rente (fraises et fleurs). La zone est très peu couverte de boisements de pin et d'eucalyptus avec un taux moyen de l'ordre de 7 %.

Cette zone péri-urbaine est densément peuplée avec 116 habitants au km².

3.2. Climat

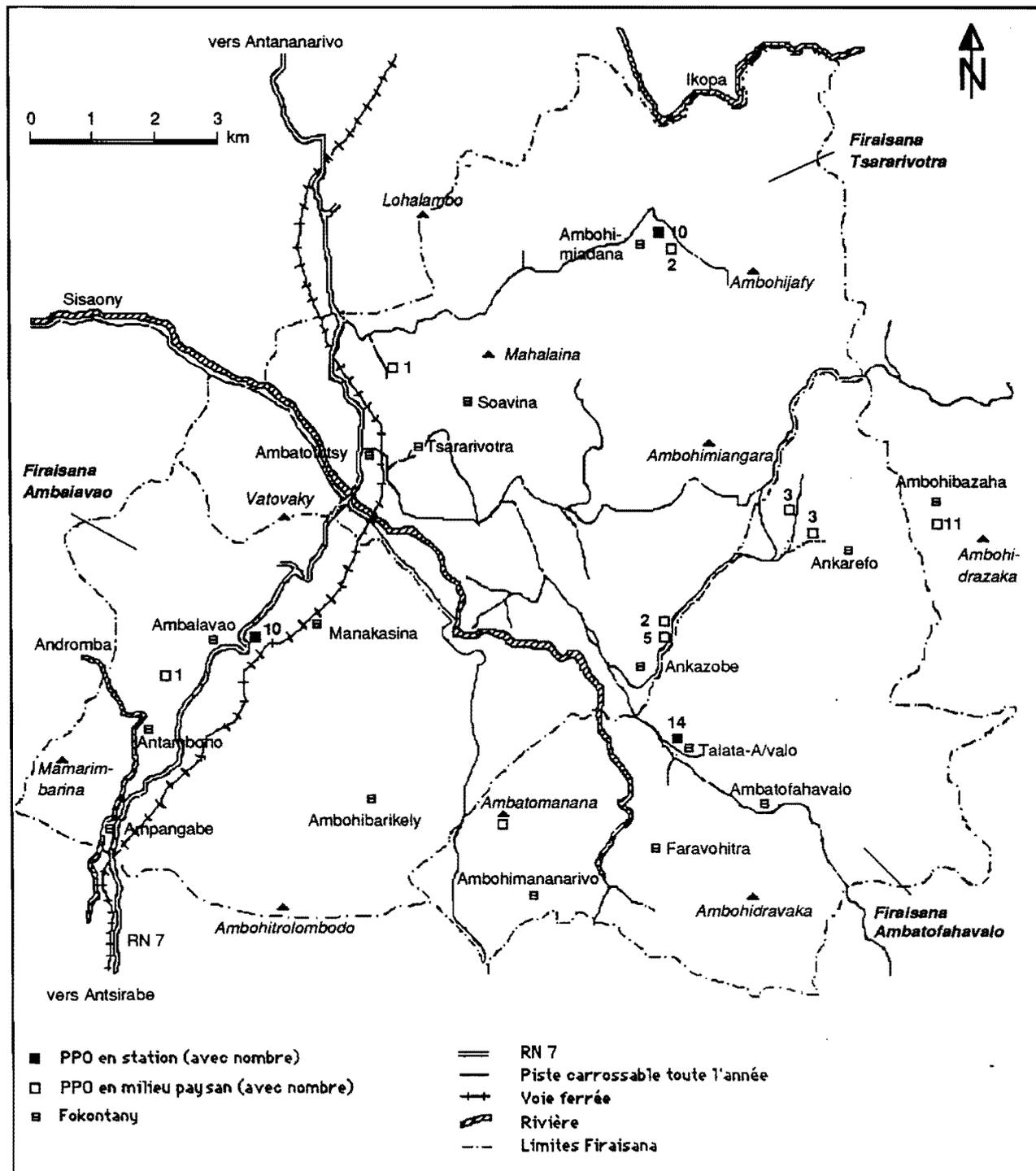
Le climat de la région d'étude correspond au type tropical humide d'altitude, avec deux saisons bien distinctes:

- une saison chaude pluvieuse de novembre à mars
- une saison fraîche et sèche d'avril à octobre

La saison des pluies correspond à des mois chauds et humides avec de fortes précipitations qui sont liées à la fluctuation saisonnière du Front Intertropical de Convergence et au phénomènes cycloniques.

La saison sèche est assez longue et très marquée. Cette période fraîche, avec des abondants brouillards et des crachins, correspond à l'hiver austral. Le volume de ces précipitations hivernales restent toutefois faible.

Quel que soit le mois considéré, les vents au sol viennent en prépondérance du secteur Est. Ils prennent une grande importance dans la saison fraîche, et en été, il y a apparition de courants de mousson (Nord à Nord Ouest) non prédominants (DONQUE, 1971). Les versants exposés vers l'Est reçoivent plus de précipitations et restent donc plus frais, plus ventilés et plus humides (BOURGEAT, 1972; DONQUE, 1971).



Carte 1: Carte de la zone d'étude d'Ambatofotsy avec localisation des Placettes Permanentes d'Observation (PPO)

La station météorologique de la zone d'étude est située à Ambalavao et gérée par le Centre FAFIALA. Le relevé des données se poursuit depuis 1985. Le tableau suivant et le diagramme ombrothermique illustrent les données de la station.

La pluviométrie annuelle est de 1324 mm (moyenne sur 9 ans).

La température moyenne annuelle s'élève à 19.8°C avec juillet et août comme mois les plus froids où les extrêmes descendent parfois au-dessous de 0°C.

Tab. 3. Précipitations et températures moyennes enregistrées à la station d'Ambalavao - Atsimondrano entre 1985-93

Mois	Précipitation (mm)	Température moyenne (°C)	T. maximale moyenne (°C)	T. minimale moyenne (°C)
Juillet	9,7	15,8	22,1	9,4
Août	6,0	16,3	22,8	9,9
Septembre	4,9	18,1	25,7	10,5
Octobre	71,2	20,4	27,6	13,2
Novembre	160,3	21,3	28,1	14,6
Décembre	250,8	22,4	28,7	16,0
Janvier	265,4	22,7	28,5	16,9
Février	317,3	22,6	28,1	17,2
Mars	145,5	22,3	28,2	16,4
Avril	69,2	21,1	27,1	15,1
Mai	18,0	18,6	24,8	12,5
Juin	5,7	16,4	22,7	10,3
Annuel	1324,2	19,8	26,1	13,5

AMBALAVAO (1300 m) 19,8°C 1324 mm

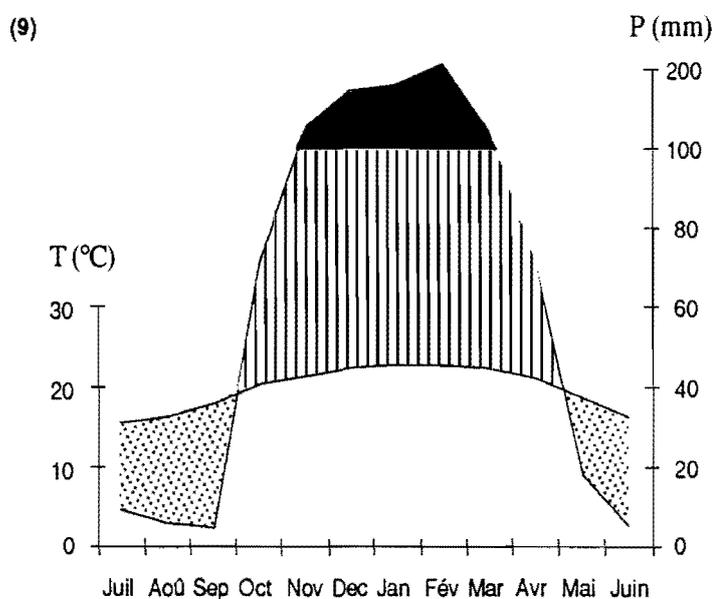


Fig. 3. Diagramme ombrothermique selon WALTER et LIETH pour la station d'Ambalavao-Atsimondrano

Selon BLASER et RAKOTOMANANA (1990), la région appartient à la zone de reboisement "Zone orientale" de la région centrale, qui est comprise dans les Hauts-Plateaux, à une altitude supérieure à 800 m et qui jouit une influence des alizés. 3 à 4 mois sont considérés comme écossecs.

Dans le cadre d'une étude d'aménagement du Bassin Versant de l'Ikopa, une carte bio-climatique a été établie qui reflète les aptitudes forestières de ce Bassin Versant (BDPA SCETAGRI et al. 1994). Nous utilisons cette source comme référence pour la caractérisation de notre zone d'étude:

"La pluviométrie et sa distribution, les rosées nocturnes, l'altitude déterminant

température et évapotranspiration, les risques de gelée, sont autant de données sujettes à des variations importantes de l'aptitude forestière."

Toutes ces données ne sont pas mesurées, et l'expérience des forestiers sur le comportement des arbres propose le zonage indicatif suivant (cf. carte 2: Carte bio-climatique des Hautes-Terres Centrales):

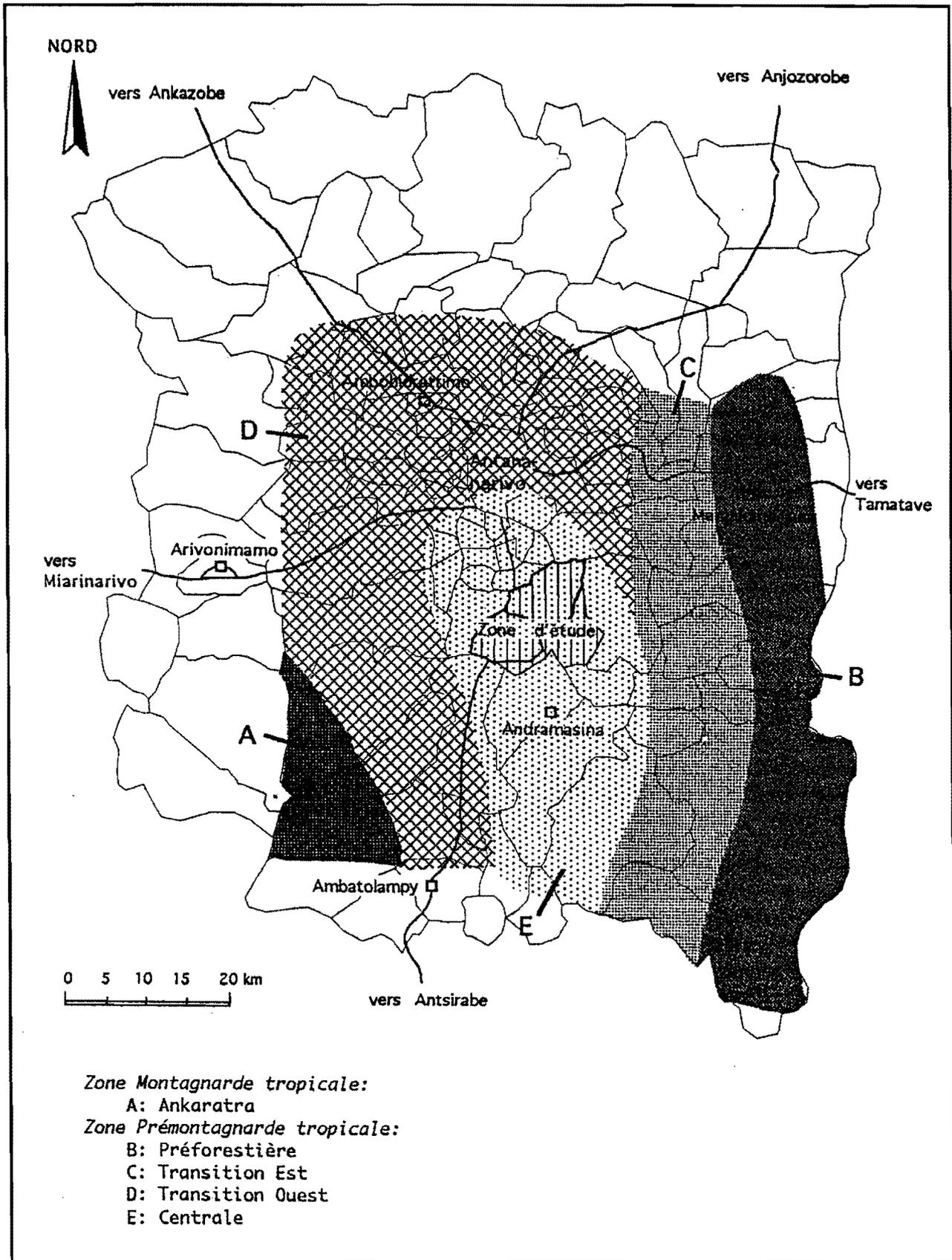
	Zone montagneuse tropic.:	Zone prémontagnarde tropicale:			
	Ankaratra (A)	Préforestière (B)	Transition Est (C)	Transition Ouest (D)	Centrale (E)
Altitude	1700-2000	1300-1700	1300-1700	1200-1700	1200-1500
Pluviométrie annuelle	1500-2000	1500-1800	1300-1500	1300-1500	1200-1300
Nb jours pluies	160	160-170	150	130	120-130
Nb mois sec ¹	3-4	4	4-5	5	5
Risques gelées	+++	+	+	+	+
Rosées et crachins	++	+++	+	-	-
Soils dominants	volcanique	ferrallitique	ferrallitique	ferrallitique ou volcanique	ferrallitique
Arboretum de référence	Manjakatempo	Mandraka	Angavokely	Ambatobe	Ambatobe
Comportement ²	7 à 15	9 à 11	7 à 9	5 à 7	moins de 5
Essences principales adaptées	<i>Eucalyptus grandis</i> et <i>E. saligna</i>	<i>Eucalyptus robusta</i>	<i>Eucalyptus robusta</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> , <i>Pinus kesiya</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> , <i>Pinus kesiya</i>

Tab. 4. Caractérisation des zones bio-climatiques du Bassin Versant de l'Ikopa (source BDPA SCETAGRI et al., 1994)

Dans la présente étude, les zones B et C sont considérées comme "Région centrale - zone du versant oriental", les autres (A, D, E) comme "Région centrale - zone du versant occidental".

¹ Pluviométrie inférieure à 40 mm

² Possibilité moyenne en m³/ha/an en taillis, variable bien sûr, en fonction des sols



Carte 2: Carte bio-climatique du Bassin Versant de l'Ikopa (source: BDPA SCETAGRI et al., 1994)

3.3. Géologie et géomorphologie (d'après RANDRIAMBOA-VONJY, 1990)

3.3.1. Formations géologiques

Les trois Firaisana Ambatofahavalo, Tsararivotra et Ambalavao sont caractérisés par les formations géologiques suivantes du socle ancien:

- *Schistes cristallins*:
 - Gneiss
 - Migmatites
- *Roches de granitisation*:
 - Granites migmatitiques et migmatites granitoïdes
 - Granites Ambatomiranty
 - Quartzite

Ces formations sont présentées sur un extrait de la carte géologique d'Antananarivo-Manjakandriana (cf. carte 3).

Schistes cristallins

- La *série gneissique* et les *migmatites* qui sont constituées de roches facilement décomposables, sont profondément altérées (le matériel originel est surmonté d'une altérite épaisse pouvant atteindre 30 voir 40 mètres).

Roches de granitisation

- Les *granites migmatitiques* et les *migmatites granitoïdes* sont situés au sud et à l'ouest de la zone étudiée. Les sols issus de ces roches sont chimiquement pauvres, désaturés³, relativement riches en quartz et de couleur jaunâtre.

³ dans les sols à complexe *désaturé*, les ions "acides" (Al³⁺ et H⁺) prennent une place importante dans le complexe absorbant des sols (DUCHAUFOR, 1988)

- Les *granites Ambatomiranty*⁴ correspondent à des filons rectilignes et peuvent s'allonger sur plusieurs kilomètres, recoupant les autres formations géologiques, et forment les reliefs dominants de la zone. Ces filons sont soulignés par de fréquents affleurements de boules de roches de tailles diverses aux sommets et sur les versants.

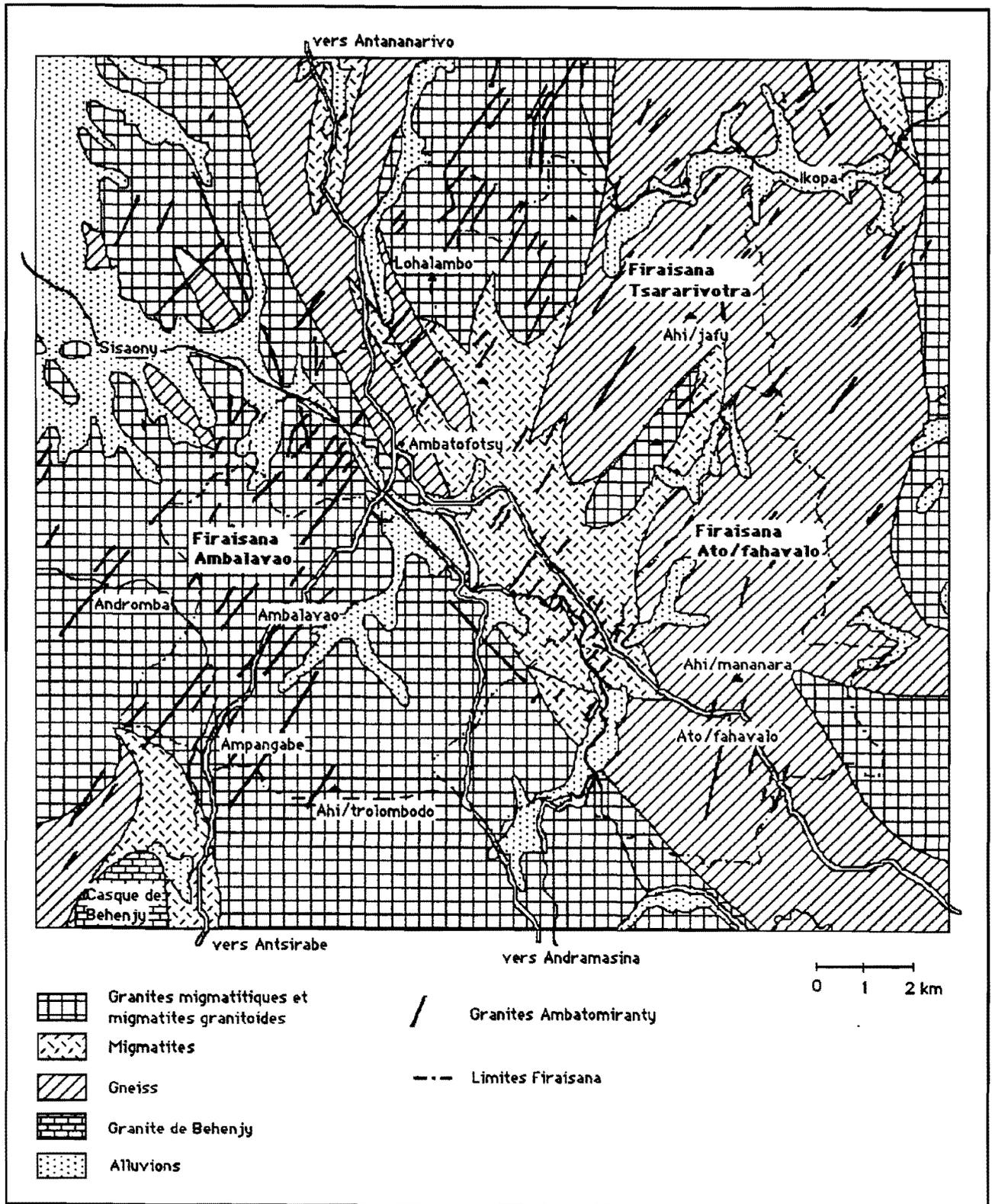
Ces granites (roches mésocrates) renferment une certaine réserve minérale. Ceci explique que les sols qui sont plus récents, peu profonds et situés sur les pentes fortes et issus de ces roches difficilement altérables peuvent présenter une certaine richesse chimique (sols rajeunis⁵ et sols peu évolués).

- Des bancs de *quartzite*, affleurent (sous forme de boules) dans le secteur et arment, parfois avec les granites, des reliefs dominants. Seuls, ils donnent des modelés arrondis (croupes) et barrent fréquemment les fonds des thalwegs⁶.

⁴ Ambatomiranty signifie en malgache "pierres alignées"

⁵ "rajeunissement" des sols par des facteurs comme érosion, remaniement des sols par les eaux superficielles ...

⁶ thalweg = ligne de plus grande pente d'une vallée, suivant laquelle se dirigent les eaux



Carte 3: Extrait de la carte géologique d'Antananarivo-Manjakandriana avec les limites des trois Firaisana Ambatofahavaio, Tsararivotra et Ambalavo (selon DE LUBLAC, 1963)

3.3.2. Géomorphologie

Les niveaux d'érosion inférieur⁷ et intermédiaire⁸ des Hautes-Terres Centrales, décrits par BOURGEAT et PETIT (1969), se retrouvent dans la zone étudiée. Elles se reconnaissent aisément par leur différence d'altitude:

- Niveau inférieur:
1300 - 1350 (1380) m
- Niveau intermédiaire:
1450 - 1600 m

Ces deux anciens niveaux d'érosion ont été plus ou moins entaillés par des reprises (quaternaires) d'érosion.

Le passage d'un niveau à l'autre correspond à une zone de talus d'érosion, formée de collines fortement entaillées de lavaka et de reliefs érodés à versants abrupts, armés par des roches granitiques et/ou des bancs de quartzite.

Par ailleurs, les reprises d'érosion quaternaires ont entraîné la formation des glacis à pente faible.

* Niveau inférieur

Ce niveau constitue les zones basses de la région et se développe, surtout le long des principaux axes hydrographiques (rivières Sisaony, Andreniranosarotra, Andromba...). Il est formé d'une série de croupes à replats, de collines ou croupes plus ou moins érodées, culminant entre 1350 et 1380 m, dominées par des reliefs sur granites et la zone de talus d'érosion (armés par des roches granitiques).

* Niveau intermédiaire

Ce niveau correspond à des hautes collines à replats sommitaux à faible

pente longitudinale et des croupes plus ou moins convexes d'interfluves, culminant à des altitudes entre 1500 et 1600 m.

Des reliefs plus élevés, portés par des granites et des bancs de quartzite, émergent et dominent ce niveau. Ces reliefs culminent à des altitudes de 1650 m.

* Glacis (quaternaires)

Ces modelés concernent les zones les plus basses du relief, situées seulement dans le Firaisana d'Ambatofahavalo. Ce sont des formes de reliefs particuliers qui se caractérisent par une pente longitudinale régulière et inférieure à 5 %.

La reconnaissance de ces ensembles morphologiques a montré qu'il n'existe aucun type de sol qui leur soit spécifique (BOURGEAT 1989), même si certaines propriétés apparaissent, d'une façon assez générale, plus marquées au sein d'un niveau donné. Mais les reprises d'érosion (quaternaires) ont façonné ces anciens niveaux faisant apparaître des formes de paysage caractéristiques où on rencontre des associations de sols spécifiques. Ces types de formes paysagiques et les sols qui leur sont associés constituent précisément les unités morphopédologiques qu'il convient de décrire.

Ces unités morphopédologiques, décrites par BOURGEAT (1989, 1990) et RANDRIAMBOAVONJY (1990), ont été synthétisées pour faciliter leur reconnaissance sur terrain.

Pour une meilleure compréhension de ces unités de paysage, une description des types de sols et des formations végétales rencontrés dans la zone s'avère nécessaire.

⁷ = niveau d'aplanissement fini-tertiaire

⁸ = niveau d'aplanissement méso-tertiaire

3.4. Sols des tanety des Hautes-Terres Centrales

3.4.1. Caractérisation des sols

Les différentes études effectuées dans la zone par BOURGEAT (1989, 1990 et 1991) et RANDRIAMBOAVONJY (1990) ont montré qu'il y a des étroites relations entre les sols, la position topographique, la roche-mère et la végétation, qui expliquent leur fertilité et leurs aptitudes quant à la mise en valeur.

C'est pour cette raison qu'une discussion de ces relations est faite avant que les différents types de sols rencontrés soient présentés. Rappelons tout d'abord que la fertilité des sols dépend de trois facteurs: la teneur en *matière organique*, la présence de *minéraux primaires* (micas, feldspath...) et des *propriétés physiques* plus ou moins favorables.

* Aptitude des sols et leur position topographique

Sur les Hautes-Terres de Madagascar, c'est sur les pentés les plus fortes que l'on observe des sols les moins compacts (sols ferrallitiques rajeunis, sols peu évolués). Ceux-ci sont limoneux ou sableux, plus ou moins riches en squelettes de minéraux altérables, très poreux, à structure polyédrique ou peu développée. Ces sols sont bien prospectés par le système racinaire, faciles à travailler et possèdent les meilleures potentialités. Malheureusement, du fait de leur position topographique, de leur teneur en limons et de leur faible cohésion et donc de leur faible stabilité structurale, ils sont fortement sensibles à l'érosion.

Pour les sols issus des roches schisteuses (gneiss, migmatite), deux cas sont à considérer:

- les sols sur les surfaces planes ou à faible pente

qui présentent un horizon B tassé et compact, non pénétré par les racines et souvent avec une "stone-line"⁹ en dessous de l'horizon humifère. Ils sont pauvres du point de vue chimique. En plus, ils ont des propriétés physiques médiocres (correspondant aux types de sols ferrallitiques à structure fortement et moyennement dégradée).

- les sols sur des reliefs à faible ou moyenne pente

qui présentent un horizon B à structure polyédrique, relativement bien prospecté par les racines sont également pauvres du point de vue chimique, mais montrent des meilleures propriétés physiques (sols ferrallitiques typiques à structure polyédrique).

* Relations entre la roche-mère et les sols (d'après BOURGEAT, 1991)

Peu de relations entre les propriétés chimiques des sols et la roche-mère sont à observer. Cette absence de relation est de règle lorsque le sol se forme à partir d'un épais manteau d'altération¹⁰ dont l'origine est ancienne et qui est fortement lessivé (peu de minéraux primaires disponibles). C'est le cas de tous les sols localisés sur les anciens niveaux d'érosion et de ceux qui dérivent de l'ensemble des roches schisteuses profondément décomposées où ils sont

⁹ Stone-line = ligne de pierres (généralement du quartz)

¹⁰ altération = transformation biochimique et géochimique de certains minéraux primaires (DUCHAUFOR, 1988)

toujours pauvres chimiquement. La roche-mère intervient sur les propriétés chimiques des sols seulement lorsque ceux-ci sont d'âge récent ou lorsqu'ils ont été décapés par l'érosion.

Sur les reliefs dominants sur granite à pente forte, riches en affleurement rocheux, avec des zones d'altération peu profondes, l'érosion a constamment rajeuni les sols et ceux-ci ont un taux de saturation¹¹ et des réserves qui varient suivant la teneur en minéraux colorés de la roche-mère.

Par contre, sur les granites migmatitiques (roches leucocrates), les sols en général sont pauvres chimiquement.

La plupart des sols étant très pauvres au point de vue chimique, leur mise en valeur nécessite des fumures organiques et minérales à des doses qui sont incompatibles avec les ressources des agriculteurs. La bonne réaction aux apports de phosphore et potasse est pourtant à noter. L'utilisation de dolomie peut corriger le pH des sols, ayant pour effet d'équilibrer le rapport Mg^{++}/Ca^{++} dans les sols dépourvus de magnésium.

Si la roche-mère influence peu la chimie des sols, elle joue cependant un rôle important sur les propriétés physiques des sols. Ce sont les sols les moins profonds et le plus limoneux qui paraissent les plus intéressants car les racines des plants sont en mesure d'explorer un volume important. Ce sont eux qui sont mis préférentiellement en valeur par les paysans; malheureusement ce sont ceux qui ont les plus faibles stabilités structurales et qui sont de ce fait les plus sensibles à l'érosion (BOURGEAT 1989). Par contre

pour les sols profonds à structure dégradée (compacte), la seule source d'éléments minéraux utilisables par les plants est la couche humifère d'épaisseur réduite.

3.4.2. Relations entre la végétation et les sols (d'après BOURGEAT, 1991)

Selon le type bioclimatique, la végétation climacique pourrait être attribuée à la forêt sclérophylle de moyenne altitude, composée des espèces comme *Craspidospermum verticillatum*, *Phyllarthron madagascariensis*, *Nuxia capitata*, *Tambourissa religiosa*, *Maesa lanceolata*, *Albizia gummifera*, *Brachylaena ramiflora* Mais cette formation végétale originaire a presque disparu dans la zone. Les reliques sont très rares et sont confinées à des endroits sacrés.

La couverture végétale actuelle dépend essentiellement de l'activité humaine. Le passage répété des feux de brousse conduit, en particulier sur les sols à structure dégradée (compacte) des sommets plats, à l'établissement d'une pseudo-steppe graminée où une ou deux espèces prédominent: *Cnetium* et *Aristida*. Cette pseudo-steppe présente une composition plus variée sur les versants à pentes plus ou moins fortes.

Cependant sur les reliefs dominants à forte pente (sur sols rajeunis, sols ferrallitiques peu évolués), la végétation devient plus diversifiée. Aux espèces précédentes s'ajoutent des graminées plus exigeantes comme *Hyparrhenia rufa*, *Hyparrhenia cymbaria*, *Panicum sp*, *Neyraudia madagascariensis*, des *Helichrysum*, des fougères, des *Philippia*, des légumineuses (*Sesbania*) et de nombreuses autres espèces appartenant à diverses familles (*orchidées*, *malvacées*, *labiées*, *liliacées* ...). Après la mise en défens de ces reliefs, les ligneux

¹¹ taux de saturation = taux entre la somme des bases "échangeables" et la capacité d'échange de cations

éliminent progressivement les espèces herbacées.

Dans toute la zone, la vitesse de retour à une couverture arbustive, lorsque la pression humaine cesse, dépend essentiellement de la nature de la couverture pédologique. Le dynamisme de la végétation constitue un bon critère pour juger des aptitudes des sols.

3.4.3. Types de sols

Quatre "catégories" de sols peuvent être distinguées dans les Hautes-Terres Centrales¹². Elles relèvent des sols ferrallitiques et sols peu évolués.

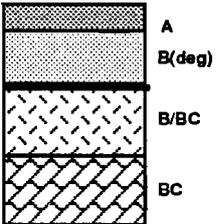
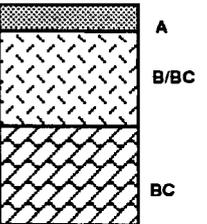
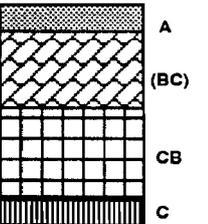
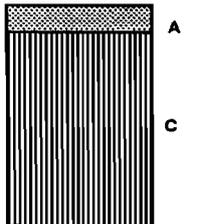
- Chez les *sols ferrallitiques*, l'altération des minéraux primaires (sauf le quartz) est pratiquement totale; les argiles sont des kaolinites; les oxydes (gibbsite, hématite, goethite), colorant les sols, sont abondants. Ceci explique la capacité très faible d'échange de cations (CEC)¹³ (< 16 m.e./100 g) et le bas niveau de taux de saturation qui entraîne la pauvreté chimique des sol.
- Le caractère commun de la classe des *sols peu évolués*, à profil A-C, est le faible degré d'évolution et d'altération; la matière organique est peu abondante; le profil reste peu coloré (peu de fer libre); toutefois des sols "intergrades" sont fréquents (DUCHAUFOR, 1988).

Des sols tronqués chez lesquels l'horizon humifère a été décapé par l'érosion ou l'action humaine (apport des matériaux aux rizières tourbeuses, feux de brousse) sont à retrouver chez les sols ferrallitiques typiques à horizon polyédrique, les sols rajeunis et les sols peu évolués d'érosion.

Il est possible que des toxicités aluminiques agissent sur le comportement des reboisements. L'hétérogénéité de la croissance des arbres, constatée dans beaucoup de parcelles, pourrait s'expliquer par ces phénomènes. Dans les sols acides, des accidents de toxicité se produisent assez souvent. Pour réduire ces phénomènes, on peut utiliser des phosphates (qui peuvent apporter en même temps des quantités importantes de calcium suivant la formule du composé utilisé) et de la matière organique, mais surtout du calcaire et de la dolomie pour relever le pH. Dès que ce dernier atteint 5.5, ces toxicités disparaissent brutalement (MINISTÈRE DE LA COOPERATION ET DU DEVELOPPEMENT, 1991).

¹² Bien que les différentes études (notamment de BOURGEAT) ont été faites dans la zone d'étude d'Ambatofotsy, les différents types de sols identifiés peuvent être rencontrés dans les Hautes Terres Centrales.

¹³ capacité d'échange = quantité maximale de cations qu'un sol peut absorber (DUCHAUFOR, 1988)

	Sols ferrallitiques typiques à structure dégradée	Sols ferrallitiques typiques à structure polyédrique	Sols ferrallitiques rajeunis ¹⁴	Sols peu évolués - d'érosion - d'apport
Profil cm 0 10 - 20 80/100				
Relief	- au sommet - en légère pente en haut versant	- au sommet - en légère pente - en bas de pente	- au versant à moyenne à forte pente	- au versant à forte pente ou - zone d'apport; légère pente
Susceptibilité à érosion	faible	moyenne	forte	- très forte - moyenne (zone d'apport)
Fertilité	faible	moyenne à bonne	bonne	bonne
Fréquence dans la zone	10 à 15 %	10 à 20 %	40 à 60%	< 10 %

Tab. 5. Caractéristiques principales des 4 catégories de sols dans les Hautes-Terres Centrales

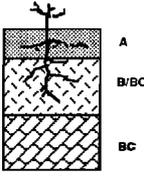
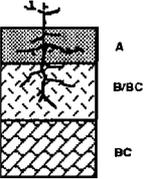
Pour chaque type de sol rencontré dans la zone d'étude, une caractérisation est présentée dans les tableaux suivants:

- le profil avec ses propriétés chimiques et physiques;
- la végétation prédominante;
- la mise en valeur actuelle avec les potentialités et principales contraintes.

¹⁴ chez les sols fortement rajeunis: profil A-CB-C, horizon BC manque

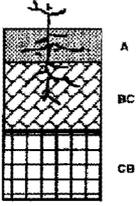
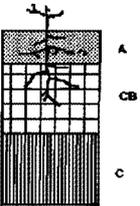
Code	Type de sol	Description	Végétation	Mise en valeur actuelle; Contraintes / Potentialités
------	-------------	-------------	------------	---

2 Sols ferrallitiques typiques à structure polyédrique

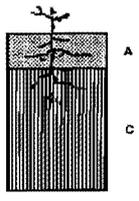
2 1	<p>Sols ferrallitiques <u>typiques</u> peu profonds "jaune" ou "rouge" à structure <u>polyédrique</u></p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Horizon A rel. épais (15 cm); bien prospecté par racines - Horizon B/BC: <u>structure polyédrique</u>; riche en quartz; texture argileuse à argileuse-limoneuse; <u>changement de couleur</u> par humectation du sol sec; rel. bien prospecté par racines - passage progressif vers l'horizon sous-jacent - <u>pente 15 - 30 %</u> 	<ul style="list-style-type: none"> - végétation rel. uniforme (<i>Cnetium</i>, <i>Aristida</i>) - végétation avec <i>fougères</i>, <i>Hyparrhenia</i>, <i>Helichrysum</i>, <i>Sarcobotrya</i>, associés avec <i>Aristida</i> - végétation arbustive plus abondant que 11/12 	<p>Mise en valeur actuelle:</p> <ul style="list-style-type: none"> - cultures pluviales avec une bonne productivité (ananas, manioc, arachides, voanjobory, patate douce) - anciens boisement d'<i>Eucalyptus</i> (<i>pins</i>) <p>Contraintes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - pauvreté chimique du sol - étendue limitée - travail difficile du sol du fait de sa texture argileuse <p>Potentialités:</p> <ul style="list-style-type: none"> - propriétés physiques satisfaisantes (texture polyédrique) - épais horizon humifère, source d'éléments nutritifs - sous couverture peu sensible à l'érosion - vocation agricole: aménagements agroforestiers - reboisement productif avec <i>Eucalyptus</i>
2 2	<p>Sols ferrallitiques <u>typiques</u> à structure <u>polyédrique</u>, <u>tronqués</u>, parfois avec <u>épandage de quartz</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> - comme 21, mais horizon humifère a été décapé par l'érosion ou par action humaine - parfois avec épandage de quartz en surface - pente faible à moyenne 	<ul style="list-style-type: none"> - végétation spontanée: <i>Rynchelitrum roseum</i> 	<p>Mise en valeur actuelle:</p> <ul style="list-style-type: none"> - zone de pâturage extensif; boisement d'<i>Eucalyptus</i> <p>Contraintes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - pauvreté chimique du sol, carence azotée - stone-line peut entraver l'enracinement des arbres - sensible à l'érosion sur pentes moyennes (ruissellement) <p>Potentialités:</p> <ul style="list-style-type: none"> - propriétés physiques satisfaisantes (texture polyédrique)
2 3	<p>Sols ferrallitiques typiques <u>humifères sur colluvions récents</u></p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Horizon humifère épais - Horizon B/BC à structure polyédrique - bonne structure avec bonne porosité - fraction sablo-limoneuse dépend de la roche-mère du relief associé - présence d'un horizon <i>pseudo-gley</i> si la nappe phréatique est proche de la surface - <u>pente inférieure à 10 %</u> 	<ul style="list-style-type: none"> - Végétation avec <i>Helichrysum</i>, <i>Philippia</i>, <i>Hyparrhenia</i>, <i>Sarcobotrya</i>, <i>fougères</i>, <i>Vaccinium</i>, <i>Aphoia</i> associés avec <i>Aristida</i> et <i>Cnetium</i> - reliques des forêts naturelles 	<p>Mise en valeur actuelle:</p> <ul style="list-style-type: none"> - cultures pluviales (maïs, manioc, patates douces...) et arboriculture (fruitiers, avocatiers...)- bonne alimentation en eau (proche nappe phréatique) <p>Contraintes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - susceptibilité pour formation d'une croûte de battance pendant la saison sèche (comme rizières hydromorphe) <p>Potentialités:</p> <ul style="list-style-type: none"> - sols fertiles: profonds, meubles à bonnes structures, faciles à travailler - vocation exclusivement agricole: aménagement agroforestier recommandé (cultures fruitières, vivrières, légumières)

Code	Type de sol	Description	Végétation	Mise en valeur actuelle, Contraintes / Potentialités
------	-------------	-------------	------------	--

3 Sols ferrallitiques rajeunis

<p>3 1</p>	<p>Sols ferrallitiques <u>rajeunis</u></p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Horizon BC: <u>changement très net de couleur</u> par humectation du sol sec; <u>structure polyédrique</u> marquée; <u>plus argileux que 32</u> - peu compact et poreux; système racinaire explore un volume important - minéraux primaires disponibles (dépend de la roche-mère); micas sont brillants et <u>plus profonds</u> que chez 32 - Horizon CB: <u>cohésion moyenne</u> - bonne infiltration - <u>pen</u>te forte en général > 30 % 	<ul style="list-style-type: none"> - végétation diversifiée composée d'<i>Aristida sp.</i>, <i>Ctenium sp.</i>, <i>Vernonia sp.</i>, <i>Psiadia altissima</i>, <i>Psorospermum sp.</i>, <i>Philippia sp.</i>, <i>Vaccinium sp.</i>, <i>Hyparrhenia sp.</i>, <i>Sarcobotrya sp.</i>, <i>Helichrysum sp.</i>, <i>fougères</i> - reitques de forêts naturelles 	<p><i>Mise en valeur actuelle:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - cultures pluviales (manioc, patate douce); boisements de pins et d'<i>Eucalyptus</i> <p><i>Contraintes:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - sensibles à la sécheresse; faible rétention d'eau - résistance moyenne à l'érosion (stabilité structurale moyenne, pentes fortes) <p><i>Potentialités:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - faciles à travailler; potentialités non négligeables; à vocation plus agricole que 32 (de point de vue structure physique du sol, cohésion et pente) - aménagements agroforestiers avec dispositifs anti-érosifs - reboisement avec espèces à racines pivotantes (<i>Pinus</i>)
<p>3 2</p>	<p>Sols ferrallitiques <u>forte-ment rajeuni</u> (pénévolué)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Horizon CB peu compact et poreux; système racinaire explore un volume important; <u>changement très net de couleur</u> par humectation du sol sec; très limoneux, très riche en minéraux primaires altérés, <u>cohésion très faible</u> (moins bien structuré que 31: plus limoneux) - <u>pen</u>te en générale très forte > 30 % (couvre des grandes surfaces des talus d'érosion à forte pente) 	<ul style="list-style-type: none"> - végétation diversifiée comme 31; encore plus riche 	<p><i>Mise en valeur actuelle:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - boisements, parfois cultivé <p><i>Contraintes:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - facilement érodables: ensablement des rizières sous-jacentes - Creusement de canaux peut favoriser l'érosion <p><i>Potentialités:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - reboisements productifs et de protection avec choix d'espèces plus grand (résineux): trouaison plus petite (sols érodables) - rendements intéressants pour cultures vivrières (maïs, manioc, patates douces...) et arboriculture (fruitiers, avocats...) après apport fumure minérale et organique, mais risque d'érosion

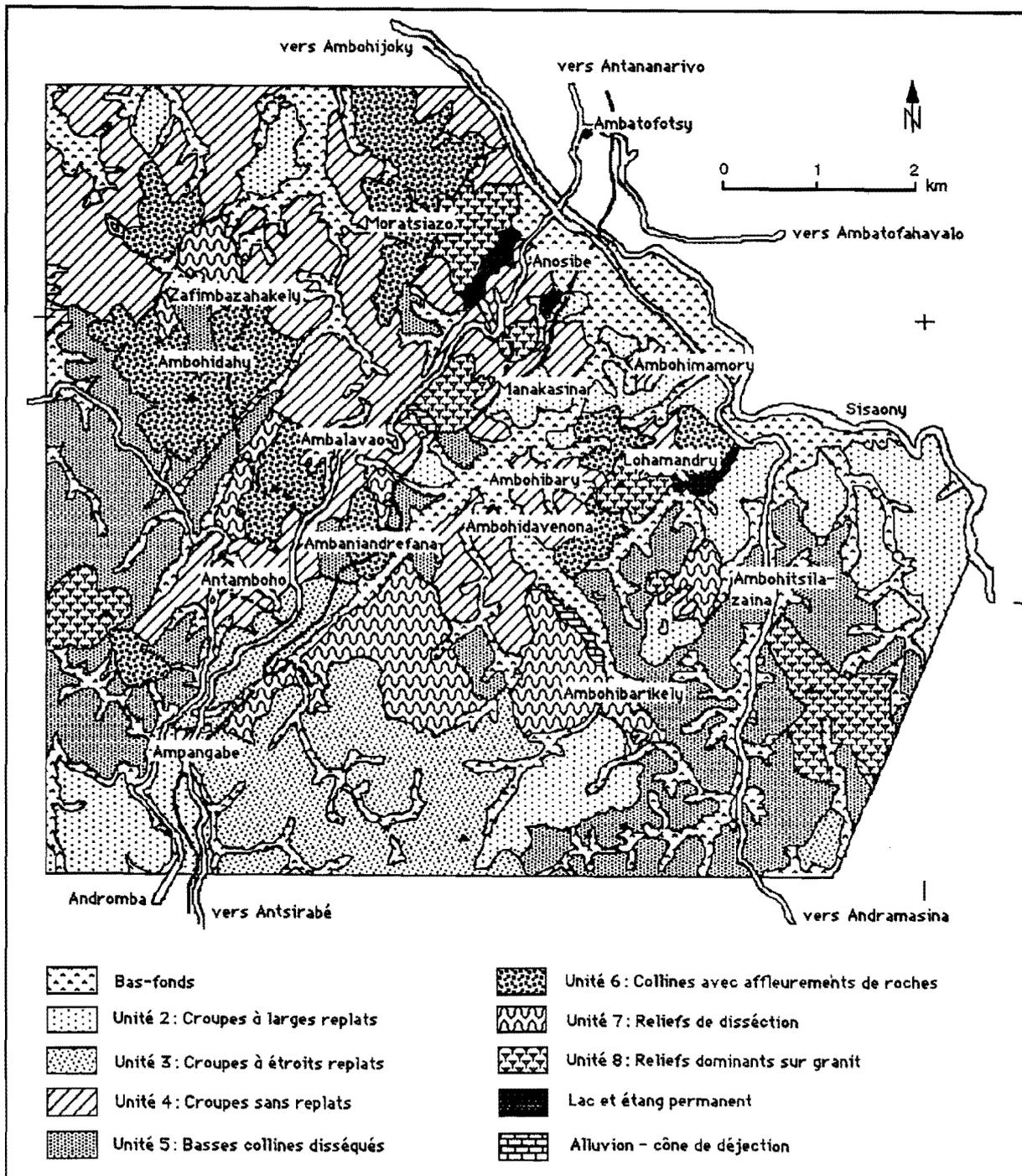
Code	Type de sol	Description	Végétation	Mise en valeur actuelle, Contraintes / Potentialités
3 3	Sols ferrallitiques <u>rajeunis</u> ; avec <u>couche</u> de fragments de quartz (20 à 30 cm)	<ul style="list-style-type: none"> - comme 31 et 32, mais avec épandage de quartz - couvre surtout des grandes surfaces sur les reliefs résiduels de quartzite 	<ul style="list-style-type: none"> - Pseudosteppe avec <i>Aristida</i>, <i>Cnetium</i>, <i>Crotalaria obtusifolia</i> (peu arbustive); très sensible aux feux - Installation de la végétation moins spontanée que sur 31 et 32 (couche de quartz) 	<p><i>Mise en valeur actuelle / Contraintes</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - pas cultivé (cailloux de quartz) <p><i>Potentialités:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - un peu moins sensibles à la sécheresse que 31/32 - sous couverture végétale, peu sensibles à l'érosion (protection des cailloux) - reboisement de protection: trouaison doit traverser couche de quartz pour assurer la reprise des plants.
3 4	Sols ferrallitiques <u>rajeunis</u> ; <u>tronqués</u> de couleur <u>rose</u>	<ul style="list-style-type: none"> - dérivés de 31 et 32 après passage répété du feu ou par influence anthropogène (chemin, décapage du matériel humifère pour rizières) - fréquent sur versants avec érosion superficielle et sur talus en amont des lavaka 	<ul style="list-style-type: none"> - le sol ne se couvre presque plus avec une végétation spontanée - présence d'une croûte de lichens 	<p><i>Mise en valeur actuelle:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - pas cultivés (sols sans horizon humifère) <p><i>Contraintes:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - appartient aux sols les moins fertiles de la région - carencés en azote <p><i>Potentialités:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - apport de matériel organique pourrait améliorer ces sols

Code	Type de sol	Description	Végétation	Mise en valeur actuelle, contraintes/potentiel
4 Sols peu évolués				
4 1	Sols peu évolués d'érosion 	<ul style="list-style-type: none"> - Horizon A variable à épais; bien prospecté par racines; riche en minéraux altérés, texture limono-sableuse; forte porosité - Horizon C sablo-limoneux; de couleur blanche; abondance de minéraux altérés, très faible cohésion - sols très poreux - <u>pente en générale > 30 %</u> 	<ul style="list-style-type: none"> - végétation ressemble à 32 - si horizon humifère est épais, végétation très diversifiée et vigoureuse 	<p><i>Mise en valeur actuelle:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - boiselements, cultures vivrières <p><i>Contraintes:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - très susceptibles à l'érosion - résistance moyenne à sécheresse - tendance à battance (croûte de surface) qui peut gêner levée de semis <p><i>Potentialités:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - sol à vocation forestière: reboisement avec espèces à racines pivotantes, très productif si horizon humifère est épais - aménagements agroforestiers, mais envisager enrichissement en azote par des cultures d'engrais vert à base de légumineuse
4 2	Sols peu évolués d'érosion; <u>tronqués</u> de couleur <u>blanche</u>	<ul style="list-style-type: none"> - comme 41, mais horizon humifère décapé avec mise à sec des horizons d'altération: apparition tâches blanchâtres - sols très meuble (très faible cohésion) - faible rétention en eau - peu de minéraux altérables (<u>Kaolinite</u>) - apparaît sur des filons quartzites 	<ul style="list-style-type: none"> - sol presque stérile, ne se couvre presque plus avec une végétation spontanée - colonisés par des lichens 	<p><i>Mise en valeur actuelle:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - en friche <p><i>Contraintes:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - très sensibles à l'érosion; carencés en azote - durcissent en surface par la présence de lichens - appartient aux sols les moins fertiles de la région <p><i>Potentialités:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Pins plantés montrent dessèchement de cime
4 3	Sols peu évolués d'apport sur <u>alluvial</u> ou <u>colluvial</u> récents (Baiboho)	<ul style="list-style-type: none"> - Horizon humifère A épais sur roche-mère meuble, constitué par des apports sableux et/ou limoneux - riche en minéraux primaires (notamment en micas) - faible cohésion, bonne porosité - différence p.r. 23: propriétés physique (cohésion) moins favorable - <u>pente moins que 5 %</u> - proche des rivières et certains bas-fonds entourés par des modélés de forte intensité d'éros. 		<p><i>Mise en valeur actuelle:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - cultures diversifiées (petit pois, maïs, bananes, canne à sucre, légumes, arbres fruitiers) <p><i>Contraintes:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - texture sablo-limoneuse d'où faible stabilité structurale du sol et forte susceptibilité à l'érosion - sensible à la sécheresse / risque d'inondation <p><i>Potentialités:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - sols de bonne qualité de point de vue fertilité et pente (certaine richesse chimique de part son âge récent: éléments minéraux); travail du sol facile (meuble) - aptitude très bonne pour agriculture pluviale et plantation arbres fruitiers, moyenne à bonne pour culture contre-saison sans irrigation

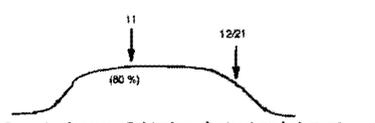
3.5. Unités morphopédologiques

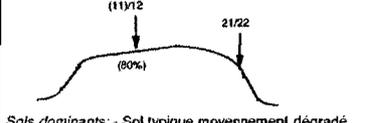
La présentation des unités morphopédologiques caractérisant le paysage des Hautes-Terres Centrales correspond à une synthèse des études faites par BOURGEAT (1989, 1990), RANRIAMBOAVONJY (1990) et RAZAFINDRAMANGA et al. (1990). L'annexe 2 résume l'appellation des unités morphopédologiques dans les Firaisana étudiés et les situe par rapport au nom retenu.

La toposéquence type des sols en fonction de la forme schématique du relief caractérisant les différentes unités est également présentée.

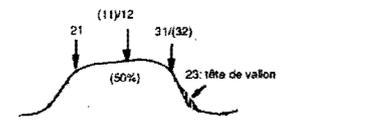


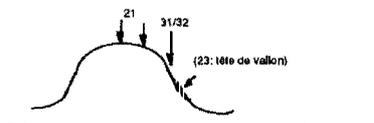
Carte 4: Carte des unités morphopédologiques du Firaisana d'Ambalavao-Atsimondrano

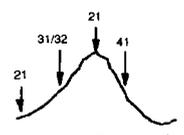
<p>Unité 1: Glacis à pentes faibles</p>  <p>Sols dominants: - Sol typique à structure fortement dégradée (11)</p>	<p>Relief/description:</p> <ul style="list-style-type: none"> - pente transversale et longitudinale très faible (moins 3 %) - présence stone-line <p>Végétation:</p> <ul style="list-style-type: none"> - pseudo-steppe monotone à <i>Aristida</i> et <i>Cnetium</i>
<p>Mise en valeur: potentialité très faible; peu favorable à l'agriculture (rarement cultivé avec manioc); reboisement peu productif avec espèces à racines traçantes (<i>Eucalyptus</i>); maintien de l'élevage extensif sur les versants; des aménagements agroforestiers peuvent être envisagés si on ne dispose pas de terre en quantité suffisante (investissement important!!)</p>	

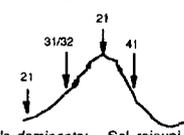
<p>Unité 2: Croupes à larges replats sommitaux</p>  <p>Sols dominants: - Sol typique moyennement dégradé (1 2)</p> <p>Autres: - Sol typique à structure polyédrique (21) (surface réduite) - Sol rajeuni (31) (tête de vallon)</p>	<p>Relief/description:</p> <ul style="list-style-type: none"> - sommets plats couvrant 80 % de l'unité - pentes faibles (longitudinale et transversale) - présence stone-line - en pente: souvent épandage de quartz +/- affleurements rocheux <p>Végétation:</p> <ul style="list-style-type: none"> - replats: pseudo-steppe à <i>Aristida</i> et <i>Cnetium</i> - versants: végétation plus diversifiée: <i>Vernonia</i>, <i>Psidium</i>, <i>Philippia</i>, <i>Vaccinium</i>, <i>Helichrysum</i>, fougères
<p>Mise en valeur: Faible potentialité (pauvreté chimique et mauvaises propriétés physiques du sol (un peu moins défavorable que l'Unité 1 (moins compact) Pâturage plus ou moins extensif, reboisements peu productifs avec espèces à racines traçantes (<i>Eucalyptus</i>); et à racines pivotantes dans les pentes Tête de vallon: aménagements agroforestiers pour cultures sèches (manioc,maïs) Bas-fonds: (surface réduite) favorable à riziculture (mais problème de drainage: nombreuses sources, encaissées par bancs quartzite)</p>	

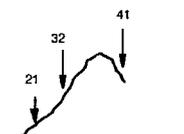
24

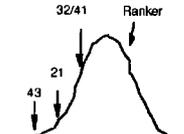
<p>Unité 3: Croupes à étroits replats sommitaux</p>  <p>Sols dominants: - Sol typique moyennement dégradé (12)</p> <p>Autres: - Sol typique à structure polyédrique (21) - Sol rajeuni (31) (en pente) - Sol typique de colluvions récents (23) (bas de pente)</p>	<p>Relief/description:</p> <ul style="list-style-type: none"> - pentes moyennes (pentes transversales jusqu'à 30 % (40%)) - raccord entre colline/bas-fonds peut être abrupte (colluvion) - épandage de quartz - +/- affleurements rocheux <p>Végétation:</p> <ul style="list-style-type: none"> - replats: pseudo-steppe à <i>Aristida</i> et <i>Cnetium</i> - versants: végétation plus diversifiée: <i>Vernonia</i>, <i>Psidium</i>, <i>Philippia</i>, <i>Vaccinium</i>, <i>Helichrysum</i>, <i>Sarcobotrya</i>, fougères
<p>Mise en valeur: En générale, cette Unité ne présente pas une bonne aptitude agricole Sommets: pâturage plus ou moins extensif; reboisements à faible productivité avec espèces à racines traçantes (<i>Eucalyptus</i>); Versants: reboisement de protection ou production (si apport engrais); Tête de vallon: aménagements agroforestiers pour cultures sèches (manioc,maïs) Terrains à vocation agricole sont limités aux bas-fonds (riziculture) aux bas de pente, généralement rencontrés en tête de vallons (cultures vivrières)</p>	

<p>Unité 4: Croupes et basses collines sans replats sommitaux</p>  <p>Sols dominants: - Sol typique à structure polyédrique (2 1) - Sol rajeuni et fortement rajeuni (3 1/3 2)</p> <p>Autres: - Sol typique de colluvions récents (bas de pente)</p>	<p>Relief/description:</p> <ul style="list-style-type: none"> - pentes moyennes à fortes (20 à 60 %) - lavaka peu fréquent - lames de granites et/ou filons de quartzite - réseau hydrographique peu développé et thalwegs moyennement encaissés - bas-fonds étroits <p>Végétation:</p> <ul style="list-style-type: none"> - assez diversifiée: <i>Psidium</i>, <i>Helichrysum</i>, <i>Sarcobotrya</i>, <i>Aloe</i>, <i>Psidium guajava</i>, fougères associés avec <i>Aristida</i> et <i>Cnetium</i>
<p>Mise en valeur: Favorable à l'agriculture moyennant l'apport de fumure organique et minérale (sur les pentes moins fortes) Installation des systèmes anti-érosifs pour les terrains en pente Reboisements de protection et/ou production avec espèces exigeantes sur parties les plus sensibles à l'érosion</p>	

<p>Unité 5: Croupes et basses collines érodées (disséqués)</p>  <p>Sols dominants: - Sol rajeuni et fortement rajeuni (31/32) - Sol typique à structure polyédrique (21)</p> <p>Autres: - Sol peu évolué (41) - Sols tronqués (34,42)</p>	<p>Relief/description:</p> <ul style="list-style-type: none"> - pentes transversales fortes; pentes longitudinales faible à marquées - sommets étroits; versants grande extension - versants: sols sont sensibles à l'érosion (sols limoneux-sableux) - présence de lavaka, fréquent - bancs de quartzite et épandage de quartz - thalwegs encaissés <p>Végétation:</p> <ul style="list-style-type: none"> - assez diversifiée: <i>Psidium</i>, <i>Helichrysum</i>, <i>Sarcobotrya</i>, <i>Aloe</i>, <i>Psidium guajava</i>, fougères associés avec <i>Aristida</i> et <i>Cnetium</i>
<p>Mise en valeur: Fertilité des sols est étroitement liée aux propriétés physiques et de l'épaisseur de l'horizon humifère Sur les versants à plus faible pente, cultures sèches moyennant la mise en place des dispositifs anti-érosifs Sur les pentes les plus raides, reboisement de protection/production de Pins</p>	

<p>Unité 6: Collines avec affleurements de boules de roches sur versants</p>  <p>Sols dominants: - Sol rajeuni et fortement rajeuni (31/32) - Sol typique à structure polyédrique (21)</p> <p>Autres: - Sol peu évolué (41)</p>	<p>Relief/description:</p> <ul style="list-style-type: none"> - pentes fortes - sommets convexes à faible pente - affleurements de boules de roches et dalles de roches saines - lavaka sont pratiquement inexistantes - roches empêchent développement du réseaux hydrographique qui se limite à d'étroits thalwegs <p>Végétation:</p> <ul style="list-style-type: none"> - assez diversifiée: <i>Psidium</i>, "Aravola", <i>Hyparrhenia</i>, <i>Indigofera</i>, <i>Helichrysum</i>, <i>Sarcobotrya</i>, <i>Philippia</i>, <i>Agauria</i>, fougères associés avec <i>Aristida</i> et <i>Cnetium</i>
<p>Mise en valeur: Propriétés physiques satisfaisantes à part l'abondance de stone-line (sols riches en quartz) Peut servir de zone de pâturage Zone de cultures agricoles en bas de pente Reboisement de protection et/ou production (apport d'engrais) avec préférence des espèces à racines pivotantes sur les versants</p>	

<p>Unité 7: Reliefs érodés à pentes fortes = reliefs de disséction</p>  <p>Sols dominants: - Sol rajeuni et fortement rajeuni (31/32) - Sol peu évolué (41)</p> <p>Autres: - Sol typique à structure polyédrique (21) - Sols tronqués (34, 42) - Ranker</p>	<p>Relief/description:</p> <ul style="list-style-type: none"> - pentes fortes à très fortes - sommets convexes à faible pente - affleurements de roches saines - nombreux lavaka - réseau hydrographique limité à d'étroits thalwegs - guère bas-fonds - sols très sensible à l'érosion <p>Végétation:</p> <ul style="list-style-type: none"> - assez diversifiée: <i>Psidium</i>, "Aravola", <i>Hyparrhenia</i>, <i>Indigofera</i>, <i>Helichrysum</i>, <i>Sarcobotrya</i>, <i>Philippia</i>, <i>Agauria</i>, fougères associés avec <i>Aristida</i> et <i>Cnetium</i>
<p>Mise en valeur: Sols par rapport à l'Unité 8, moins sableux, capacité de rétention en eau plus élevée Vocation de protection: mise en défens ou reboisement avec possibilité de choix d'espèces à racines pivotantes. Les sols peu évolués des bas de pente ou des cônes d'épandage situés en bas de thalwegs sont à hautes potentialités de mise en valeur agricole (cultures vivrières, maraichères, fruitières)</p>	

<p>Unité 8: Reliefs dominants sur granit</p>  <p>Sols dominants: - Sol peu évolué (41) plus ou moins tronqués (42) - Sol fortement rajeuni (32) - Ranker (formés sur affleurements rocheux au sommets)</p> <p>Autres: - Sol typique à structure polyédrique (21) - Sol peu évolué d'apport sur colluvial récent (43)</p>	<p>Relief/description:</p> <ul style="list-style-type: none"> - pentes très fortes (> 60 %) - sommets très aigus et versants abruptes - reliefs portés par des filons de quartz et/ou granite - affleurements de roches saines - formation limitée de lavaka - réseau hydrographique peu encaissé (ravines à fortes pentes) - absence de bas-fonds <p>Végétation:</p> <ul style="list-style-type: none"> - très diversifiée, nombreuses espèces ligneuses (<i>Neyraudia</i>, <i>Psidium</i>, <i>Philippia</i>, <i>Vaccinium</i>, <i>Maesa</i>, <i>Vernonia</i>, <i>Agauria</i>), fougères, associés aux graminées (<i>Hyparrhenia</i>, <i>Aristida</i>, <i>Cnetium</i>, "Aravola")
<p>Mise en valeur: Vocation forestière; pas limité quant au choix d'espèces (richesse chimique des sols, grande facilité d'exploration par racines) Sur sols tronqués, carencés en azote: espèces pourvues de nodosités à envisager Seuls les sols peu évolués d'apport en bas de pente sont à vocation agricole (vivrières, maraichères, fruitières)</p>	

4. Présentation des espèces de reboisement et les résultats de leur comportement en fonction des différents types de sols

La présentation des résultats se fait de la manière suivante:

- Une brève description de l'espèce est faite, en se référant principalement aux études du PIRL (1990) avec des indications sur les caractéristiques de chaque espèce dans son aire d'origine, suivi d'un résumé sur les

observations faites sur les Hautes-Terres Centrales de Madagascar.

La présentation des résultats obtenus à travers le suivi des 68 placettes permanentes d'observation est faite en fonction des différents types de sol. D'ailleurs les résultats complets par placette permanente peuvent être consultés en annexe 3.

- En annexe 4, les résultats sont présentés sous forme graphique par type de sol en mettant en évidence les différences entre les espèces de reboisement.

4.1. Pinus kesiya

a. Description générale (selon PIRL, 1990)

<p><u>Aire d'origine</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - distribution très étendue de l'Inde au Sud Est Asiatique (Laos, Tibet, Birmanie, Thaïlande, Vietnam, Philippines, Chine) - altitudes variables: 400 m (Philippines) à 2900 m (Tibet) - préférence pour 1000 à 1200 m 	<p><u>Caractères morphologiques</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - dans son aire naturelle: <ul style="list-style-type: none"> * diamètre supérieur à 1 m * fût de 25 à 35 m <p>selon ARMITAGE et al. (1980):</p> <ul style="list-style-type: none"> * Vietnam: h = 5.1 m (âge 10 ans) * Sambia: h = 9.1 m (âge 6 ans)
<p><u>Conditions climatiques</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Temp. moyenne annuelle: 15 à 25 °C - Pluviométrie annuelle: 1500 à 3000 mm (optimum 2000 à 3000 mm) - Saison sèche: 1 à 4 mois 	<p><u>Conditions stationnelles</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - uniquement sur des sols bien drainés provenant surtout de la décomposition de granit, gneiss et grès - sols acides, de texture sableuse à argileuse

b. Hautes-Terres Centrales (Madagascar) (selon PIRL, 1990)

<p><u>Comportement</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - très bon comportement (900 à 1500 m) dans la région centrale (versant oriental et occidental) - plantation de 60'000 ha par FANALAMANGA (Haut Mangoro) - A 15 ans, les productions varient de moins de 5 sur pente à 25-30 m³/ha/an sur plateaux avec fertilisation (Haut Mangoro) 	<p><u>Arboreta:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Ambatobe: h=25 m; d=22 cm; q¹⁵=26cm (âge 31 ans) - Angavokely: h=25 m; d=29 cm; q=38 cm (âge 38 ans)
--	--

¹⁵ q (= quartile supérieur = valeur du diamètre de l'arbre le plus petit parmi les 25 % les plus gros) comme indicatrice du potentiel moyen du peuplement dominant

Caractéristiques technologiques et utilisations

- séchage et usinage faciles
- nécessite d'un élagage artificiel pour obtenir du bois d'oeuvre
- problème de forme souvent défectueuse
- très sensible au bleuissement
- utilisable en charpente légère, menuiserie d'intérieure, feuille de déroulage pour contre-plaqué, caisserie, bois de papeterie

Les résultats obtenus dans les importantes plantations et dans les arboreta montrent que *Pinus kesiya* s'est bien adapté sur l'ensemble de la région centrale (versants oriental et occidental¹⁶). En plus, cette espèce rustique présente une forte capacité de réaction à des interventions sylvicoles (éclaircies, élagage) et son bois offre de bonnes caractéristiques technologiques.

Le type de régime sylvicole principal à appliquer est la futaie qui peut être obtenue à travers des afforestations (BLASER et al., 1990).

c. Résultats obtenus par type de sol dans la région d'Ambatofotsy

Depuis le démarrage des reboisements villageois, *Pinus kesiya* a été une des espèces principales, utilisées dans la région. Entre 15 et 20 % des reboisements ont été réalisés avec cette espèce.

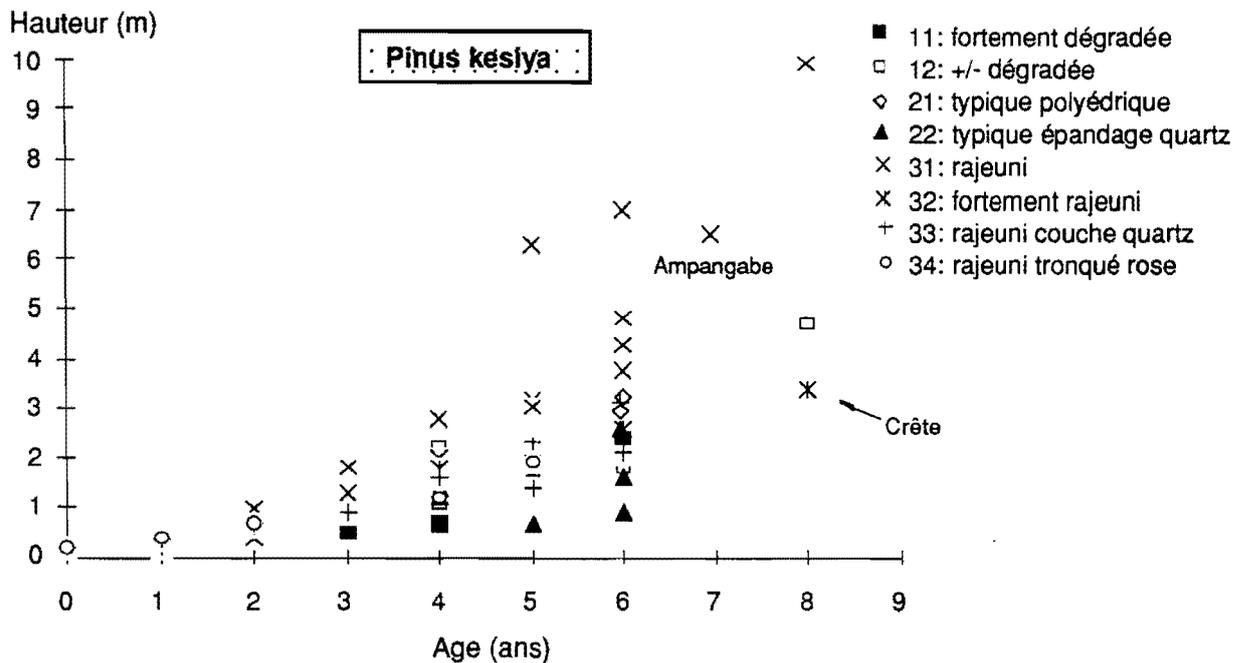
En total, 15 placettes permanentes d'observation ont été installées pour cette espèce, sur 8 types de sol.

Les résultats sont résumés dans les figures et le tableau suivants.

Les meilleurs résultats ont été obtenus sur les *sols ferrallitiques rajeunis* (type 31) à pente forte qui appartiennent à des sols les plus riches de la région. La structure de ces sols peu compacts et poreux, permet au système racinaire pivotant de *Pinus kesiya* d'explorer un volume important. Sur ces *sols rajeunis*, des reboisements productifs peuvent être envisagés.

La production des parcelles de *Pinus kesiya*, situées dans la zone de reboisement d'Ampangabe, où le Centre FAFIALA installe actuellement un essai d'éclaircie afin d'étudier la gestion de ces boisement, atteint 50 à 80 m³/ha à l'âge de 7 ans. Ceci correspond aux meilleurs rendements obtenus dans la région d'étude.

¹⁶ selon zonification, présentée au 3.2. Climat



Remarque: Pour des raisons de "visualisation", les hauteurs moyennes en fonction de l'âge d'une même placette permanente n'ont pas été liées par des traits.

Taux de survie (âge 5 ans)	%	Qualité (tous sols confondus)
11: fortement dégradée	61	
12: +/- dégradée	76	
21: typique polyédrique	100	
22: typique épandage quartz	88	
31: rajeuni	92	
32: fortement rajeuni	96	
33: rajeuni couche quartz	94	
34: rajeuni tronqué rose	97	

La croissance de cette espèce sur des sols ferrallitiques typiques à structure polyédrique (type 21) est moyenne ($h = 2.3$ m à l'âge de 5 ans). Le horizon B/BC y peut être relativement bien prospecté par les racines.

Par contre, l'espèce ne s'est pas bien adaptée aux stations à des pentes

faibles, sur les sols typiques à structure fortement ou moyennement dégradée (type 11/12). Le type pivotant du système racinaire n'arrive pas à percer le horizon $B_{(deg)}$ qui est compact (hauteur moyenne = 1.5 m à l'âge de 5 ans).

A part sur les sols à structure fortement et moyennement dégradée, les taux de survie sont élevés et varient entre 88 à 100 %.

Le défaut "fourchu" est le plus fréquent, présent sur 20 % de toutes les tiges mesurées. Par la taille de forme et l'élagage, effectués au jeune stade des plantations, ce défaut pourrait être corrigé.

Les paysans de la région jugent que le "kesika" s'est bien adaptée. Elle montre des bons accroissements et les houppiers se développent bien. Par contre, les reboisements effectués sur des sols à couleur blanche (*sol peu évolué tronqué de couleur blanche*) et des sols décapés, montrent un comportement médiocre avec des cimes sèches. Le plus grand désavantage de cette espèce est cependant sa sensibilité aux feux qui peuvent anéantir en quelques heures tous les efforts de plantation de plusieurs années. C'est pour cette raison que la plupart des reboiseurs paysans ont opté actuellement pour les *eucalyptus* qui ont la capacité de rejeter après le passage du feu, même au jeune âge (particularité de leur lignotuber).

D'après LABROUSSE et BAILLY¹⁷, les expériences menées à Madagascar dans les années 60 par le CTFT ont montré, que la bonne inoculation des plants en pépinière est primordiale pour leur développement en plantation sur tanety. L'élevage des plants en boulette, facilitant le contrôle de la présence de mycorhizes déjà au stade en pépinière, a été ainsi pratiqué à

grande échelle. C'est ainsi que ce pin arrive à surmonter la basse fertilité des sols (sols décapés par exemple).

Il a été également observé qu'une fois les racines ont percé chez des sols ferrallitiques typiques à structure +/- dégradée (type 12) la stone-line, les plants se comporte convenablement.

4.2. Pinus elliottii

a. Description générale (selon PIRL, 1990)

Aire d'origine

- originaire de Floride/Etats Unis (en plaine dans des terrains marécageux)
- altitude: 0 - 150 m

Caractères morphologiques

- arbre de taille moyenne ou plutôt grands
 - * diamètre de 30 cm à 1 m
 - * fût de 12 m et plus

selon STREETS (1962):

- * Afrique du Sud: h = 16 m (âge 15 ans)

Conditions climatiques

- Temp. moyenne annuelle: 18 à 22 °C (minima absolus: - 7 °C)
- Pluviométrie annuelle: 1200 à 1500 mm
- Saison sèche: 3 à 4 mois

Conditions stationnelles

- terrains marécageux (sable à pH bas, stagnation de l'eau pendant plusieurs mois)
- terrains bien drainés, sous réserve de disposer d'une humidité du sol suffisante
- résiste bien au feu grâce à l'épaisseur de l'écorce

¹⁷ experts en conservation des sols et foresterie, intervenants dans l'étude BPPA sur l'aménagement du Bassin Versant de l'Ikopa (communication orale)

b. Hautes-Terres Centrales (Madagascar) (selon PIRL, 1990)

Peu d'informations sur son comportement dans les Hautes-Terres sont disponibles. Selon la bibliographie, sa plantation dans la région centrale peut être envisagée (PIRL, 1990, WEBB et al., 1984), bien que les caractéristiques de son aire d'origine soient très différentes de celles des Hautes-Terres. Mais les plantations faites en Afrique du Sud, en Australie ... montrent que cette espèce s'adapte à des conditions écologiques assez différentes de celles de son aire d'origine (altitudes varient entre 500 et 2500 m). D'après PIRL (1990), cette espèce est néanmoins mieux adaptée au versant oriental de la région centrale.

<u>Comportement</u>	
<ul style="list-style-type: none">- peu d'informations disponibles- mieux adapté que <i>Pinus caribea</i>- semble moins adapté que <i>Pinus kesiya</i>	<u>Arboreta:</u> <ul style="list-style-type: none">- aucune parcelle installée à Ambatobe et à Angavokely- Ampamaherana (Fianarantsoa; pluviométrie 1720 mm): h=25 m; d=38cm (âge 38 ans)
<u>Caractéristiques technologiques et utilisations</u>	
<ul style="list-style-type: none">- bois de meilleure qualité que <i>Pinus caribea</i>- bois mi-dur et léger, peu nerveux, peu résistant aux chocs- utilisation: charpente légère, parquet, menuiserie, charpente lamellée-collée, feuilles de déroulage, voliges, plafonds, habillage, caisserie, pâte à papier	

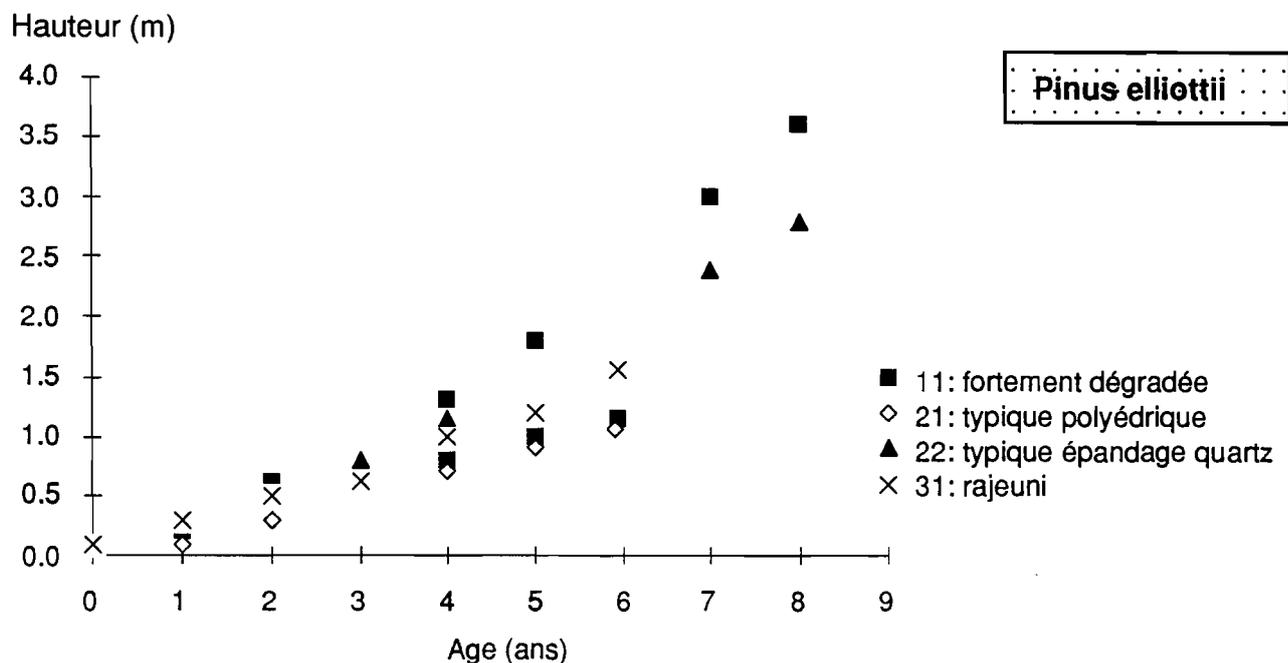
c. Résultats obtenus par type de sol dans la région d'Ambatofotsy

Pinus elliottii a été retenu pour les reboisements du Projet PARV dans la région d'Ambatofotsy depuis 1984, mais à une échelle plus faible que *P. kesiya*.

Seulement 5 placettes (sur 4 types de sol) ont été installées pour cette espèce, ce qui ne permet pas de conclure définitivement sur son adapta-

bilité aux conditions écologiques du versant occidental de la région centrale.

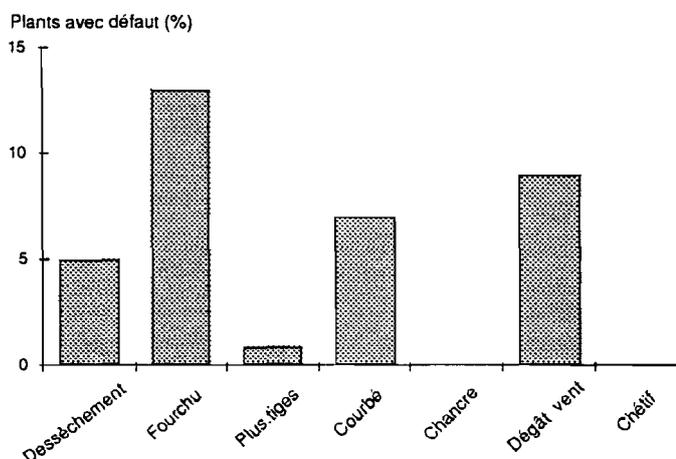
Les résultats ci-dessous montrent que cette espèce est, du point de vue croissance et taux de survie, en général moins performant que *P. kesiya*. Ainsi sur sol rajeuni (seulement 1 placette), la hauteur moyenne à l'âge de 5 ans est à peine un tiers de celle de *P. kesiya* (1.2 m versus 3.7 m).



Un comportement relativement bon du point de vue croissance est à observer sur les sols avec des horizons à structure compacte (*Type 11*), mais le taux bas de survie (53 %) indique néanmoins que ces résultats sont à confirmer. D'ailleurs WEBB et al. (1984) observent que cette espèce peut supporter des sols plus superficiels que *P. kesiya*.

Taux de survie (âge 5 ans) % Qualité (tous sols confondus)

11: fortement dégradée	53
21: typique polyédrique	86
22: typique épandage quartz	92
31: rajeuni	100



Qualitativement, *Pinus elliottii* montre les mêmes défauts que *P. kesiya*, c'est-à-dire des tiges fourchus, courbés et une sensibilité au vent. Les reboiseurs paysans trouvent d'ailleurs que cette espèce est plus sensible au vent que le *P. kesiya*.

Nous proposons toutefois de maintenir ce pin dans la gamme des espèces potentielles et de tester son comportement sur les stations à pente forte (*sols rajeunis, sols rajeunis avec couche de quartz, sols peu évolués*).

4.3. *Eucalyptus camaldulensis*

Concernant l'adaptation des *eucalyptus* dans la région centrale des Hautes-Terres (versants oriental et occidental), les résultats obtenus dans les arboreta ont montré que les espèces qui ont échoué proviennent de l'ouest et du sud de l'Australie, donc des zones à pluies d'hiver contrairement à Madagascar qui bénéficie de pluies estivales (PIRL 1990).

a. Description générale (selon PIRL, 1990)

<p><u>Aire d'origine</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - très répandu en Australie, mais strictement cantonné dans les fonds de vallées susceptibles d'être plus ou moins régulièrement inondés - en Australie méridionale toutefois, on le trouve également aussi bien au flanc de collines que dans les ravins - altitudes variables: 0 à 700 m 	<p><u>Caractères morphologiques</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - arbre de 20 à 50 m de hauteur - diamètre pouvant atteindre 2 m - en futaie, le tronc peut s'élaner et s'élaguer très haut
<p><u>Conditions climatiques</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - zone climatique variée, chaude, subhumide à semi-aride - Temp. moyenne max. mois plus chaud: 27 à 40 °C Temp. moyenne min. mois plus froid: 3 à 15 °C 20 gelées par an - Pluviométrie annuelle: 250 - 600 mm (à 1250 mm) (type: maximum en hiver au sud, mousson dans le nord d'Australie (nov. à mars)) 	<p><u>Conditions stationnelles</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - meilleur développement atteint sur terrains d'alluvions, sols de texture assez lourde - sol neutre en surface, alcalin en profondeur - bons résultats sur sols inondés une partie de l'année - capacité d'accepter à la fois les inondations temporaires et des périodes de sécheresse

b. Hautes-Terres Centrales (Madagascar) (selon PIRL, 1990)

Dans la région centrale, cette espèce s'est mieux adaptée au versant occidental qui se caractérise par un climat plus sec et chaud par rapport au versant oriental (zone influencée par alizés, crachins).

<p><u>Comportement</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - espèce adaptée à "tout" Madagascar, existence sans doute de nombreux hybrides - dans la région centrale, l'espèce est recommandée pour le versant occidental (moins de pluies, températures plus élevés) 	<p><u>Arboreta:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Ambatobe: h=27m; d=22cm; q=30cm (âge 28 ans) - Angavokely: l'espèce a échoué (sans intérêt, formes très médiocres, tiges mourants à 35 ans, tiges grêlées dépérissants, houppiers étriqués ...)
--	--

Caractéristiques technologiques et utilisations

- bois dur et très lourd, fort retrait, très nerveux, séchage assez difficile, bois à forts collapsés
- utilisable en poteaux, étais de mines, piquets, charpente, carbonisation

c. Résultats obtenus par type de sol dans la région d'Ambatofotsy

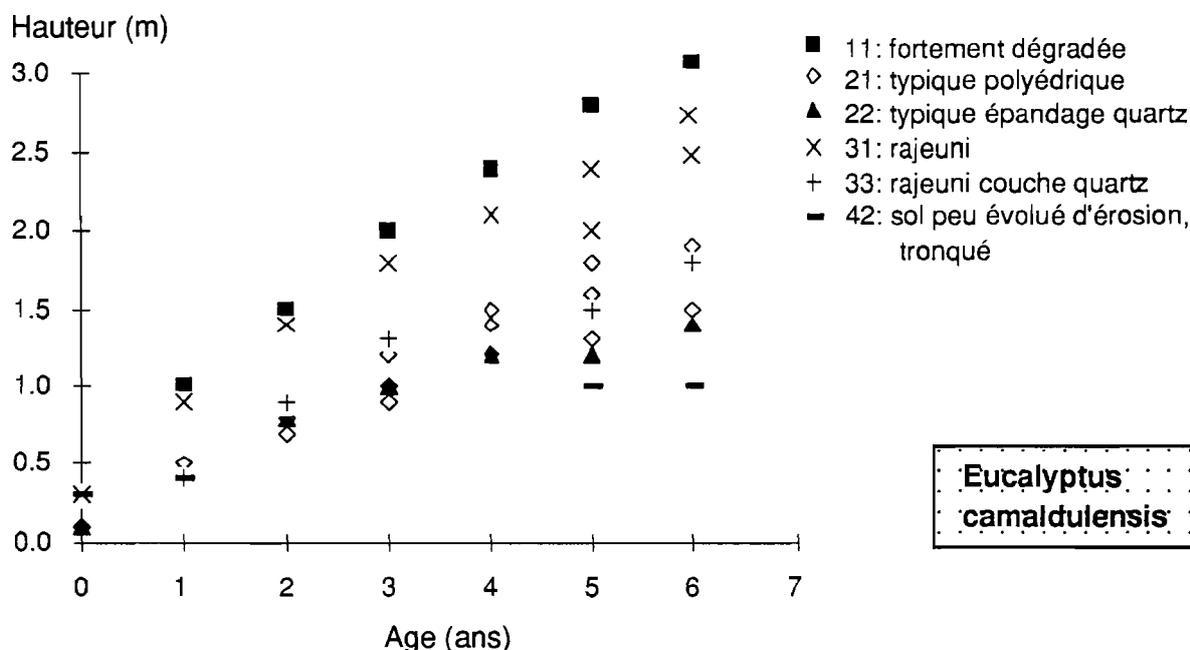
Environ 15 % des reboisements villageois ont été réalisés avec cette espèce pendant les premières campagnes (1984 - 1989) du Projet PARV.

Les figures ci-dessous montrent que *E. camaldulensis* se comporte d'une manière satisfaisante sur les sols superficiels à horizons plus ou moins compacts (bonne croissance, taux de survie élevé, relativement peu de dessèchement de cimes). De toutes les espèces introduites, elle présente la meilleure performance sur ces sols

typiques à structure +/- dégradée. Le système racinaire traçant de cette espèce arrive à explorer d'une manière optimale l'horizon humifère.

Sur les *sols rajeunis*, où les plantations avec les *eucalyptus* n'ont pas été recommandées par les techniciens, le comportement d'*Eucalyptus camaldulensis* s'avère effectivement insatisfaisant (faible croissance). Sur ces stations, la production des *pins* est plus élevée.

Sur les *sols peu évolués tronqués*, cette espèce ne s'est pas adaptée (croissance faible et stagnante à partir de 5 ans, mortalité élevée).

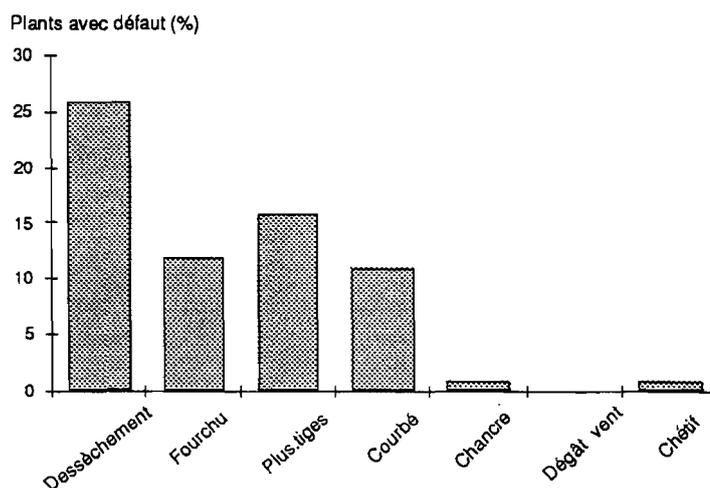


Les *sols typiques à structure polyédrique* sur relief à faible pente devraient convenir à cette espèce. Effectivement le taux de survie y est élevé et le taux de dessèchement de cime n'est pas trop haut, par contre l'accroissement des plants des 3 placettes est assez faible. Ceci peut s'expliquer par le fait que les placettes permanentes sur ce

type de sol se situent sur une colline à altitude plus élevée (1520 mètres, niveau intermédiaire).

Taux de survie (âge 5 ans) % Qualité (tous sols confondus)

11: fortement dégradée	100
21: typique polyédrique	97
22: typique épandage quartz	88
31: rajeuni	97
33: rajeuni couche quartz	89
42: sol peu évolué	58



A part sur les *sols peu évolués tronqués*, les taux de survie sont à 5 ans élevés.

Le dessèchement de cime est le défaut le plus important (25 % de tous les tiges), ce pourcentage est toutefois plus bas que chez *E. robusta* (45 %).

Les paysans de la région préfèrent clairement *Eucalyptus camaldulensis* par rapport à *E. robusta* pour les raisons suivantes:

- meilleure reprise à la plantation
- moins de dessèchement
- supporte mieux les sols secs et pousse mieux sur les sols de couleur rouge
- meilleure forme (plus droit) et meilleure croissance

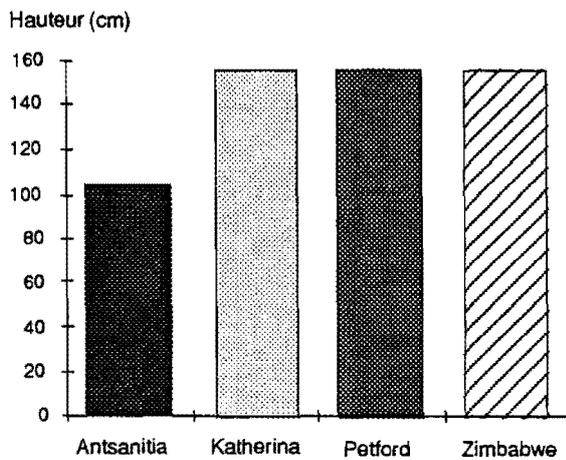
Ils l'appellent d'ailleurs "eucalyptus mâle".

Les résultats obtenus dans l'arboretum d'Ambatobe (ville d'Antananarivo, mêmes conditions écologiques) et ceux dans la région d'étude montrent son

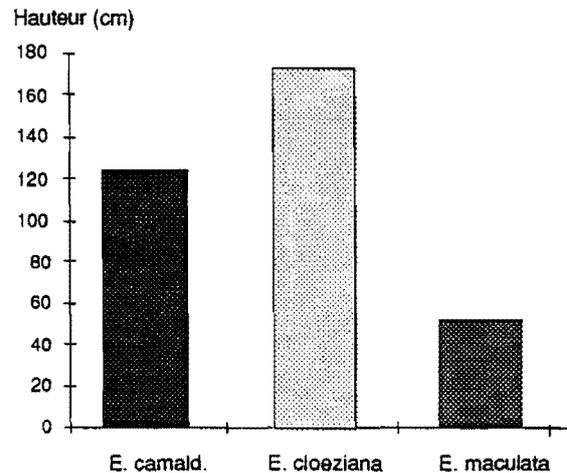
meilleur comportement parmi les *eucalyptus* réalisés dans les reboisements effectués.

Un essai de provenance de cette espèce, installé en 1991 dans la région d'étude (en collaboration entre le Centre FAFIALA et le Silo National des Graines Forestières) pourrait montrer si de gains sont à atteindre par un meilleur choix de la provenance adaptée aux Hautes-Terres Centrales. Les premiers résultats de cet essai montrent que le comportement de la provenance vulgarisée actuellement ("*Antsanitia*") est inférieur à celles récemment introduites d'Australie et de Zimbabwe (figure ci-dessous).

Le Centre FAFIALA mène d'ailleurs un essai d'adaptation de différents eucalyptus. Les premiers résultats montrent que *E. cloeziana* présente une meilleure performance qu'*Eucalyptus camaldulensis* (Provenance Antsanitia) sur le même type de sol (figure ci-dessous).



Essai de provenance d'Eucalyptus camaldulensis, installé à Ampangabe - Atsimondrano (âge des plants: 3 ans, sol ferrallitique typique à structure moyennement dégradée)



Essai d'adaptation d'Eucalyptus, installé à Ampangabe - Atsimondrano (âge des plants: 3 ans, sol ferrallitique typique à structure polyédrique)

4.4. Eucalyptus robusta

a. Description générale (selon PIRL, 1990)

Cette espèce s'est très bien adaptée aux conditions de Madagascar. Elle couvre des vastes zones sur le versant oriental où cette espèce est exploitée en taillis pour le bois de chauffe et la carbonisation.

<p><u>Aire d'origine</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Australie: zone côtière depuis le sud de Sydney jusqu'au nord de Fraser Island (sud de Queensland) 	<p><u>Caractères morphologiques</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - arbre de 20 à 30 m de hauteur à port droit - diamètre de 0.9 à 1.0 m
<p><u>Conditions climatiques</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - climat chaud et humide - Temp. moyenne max. mois plus chaud: 24 à 32 °C Temp. moyenne min. mois plus froid: 6 à 13 °C gelées absentes dans ces aires côtières - Pluviométrie annuelle: 1000 à 1700 mm (type: à maximum estival au nord; uniformément plus au Sud); nombre de jours: 100 à 110 	<p><u>Conditions stationnelles</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - marécages et bords d'estuaires et lagunes d'eau salé, bas fonds - sols lourds dans les stations marécageuses. Elle peut croître dans des sols légers s'ils ne sont pas trop secs - roches mères variées - sous-sols argileux, pouvant être plus ou moins saturés d'eau

Ses principales qualités sont:

- sa plasticité (vaste aire de répartitions, production allant de 1.5 m³ sur sols carencés à 25 - 30 m³/ha/an sur bons sols);
- sa frugalité (bon état de santé, même sur sols peu fertiles);
- sa rusticité (résistance au feu, capacité de rejet de souches même après plusieurs coupes).

b. Hautes-Terres Centrales (Madagascar) (selon PIRL, 1990)

<u>Comportement</u>	
<ul style="list-style-type: none"> - espèce la plus répandue à Madagascar, adaptée tant aux hauts plateaux qu'à la Côte Est. Elle couvre 250 à 300'000 ha. - programme d'amélioration génétique est en cours (FOFIFA-DRFP) - selon premiers résultats gains importants sur la croissance 	<p><i>Arborea:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Ambatobe: h=24m; d=26cm; q=33cm (âge 27 ans) - Angavokely: h=36m; d=36cm; q=50cm (âge 31 ans)
<u>Caractéristiques technologiques et utilisations</u>	
<ul style="list-style-type: none"> - bois lourd, mi-dur, fort retrait, très nerveux, peu résistant aux chocs, résilience faible - usinage assez facile, séchage lent, collage facile - utilisations: poteaux, charpente lourde, étais de mine, parneaux de fibres, chauffage, carbonisation 	

c. Résultats obtenus par type de sol dans la région d'Ambatofotsy

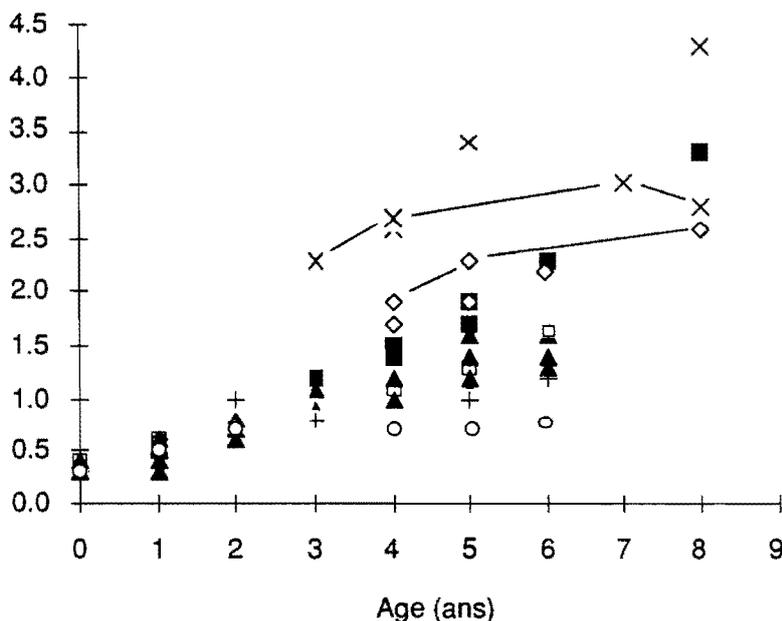
Cette espèce a été recommandée par le PIRL (1990) pour la région centrale - versant oriental. Le suivi des 13 placettes installées dans la région d'Ambatofotsy (versant occidental) confirme la justification de cette recommandation.

Bien que l'espèce montre une croissance initiale relativement bonne, le dessèchement très important des cimes (45 % de tous les plants), compromet son développement et la qualité du bois à l'exploitation.

Les graphiques ci-dessous montrent que seulement une placette, située sur un *sol rajeuni*, a une croissance satisfaisante. Toutefois, sur le même type de sol, une stagnation (voir dégressivité) de la croissance est à observer déjà à l'âge de 7 ans. Le même phénomène est d'ailleurs aussi à remarquer sur un *sol typique à structure polyédrique*.

Les hauteurs moyennes des autres placettes sont plutôt modestes et se situent entre 0.7 et 2.3 m à l'âge de 5 ans, ce qui correspond à un accroissement annuel de 0.1 et 0.5 m/an.

Hauteur (m)



Eucalyptus robusta

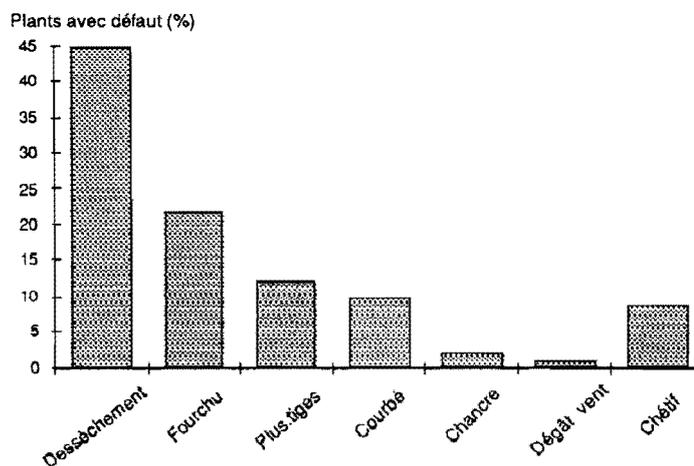
- 11: fortement dégradée
- 12: +/- dégradée
- ◇ 21: typique polyédrique
- ▲ 22: typique épandage quartz
- × 31: rajeuni
- + 33: rajeuni couche quartz
- 34: rajeuni tronqué rose

Du point de vue qualité, seulement 33 % des plants ne présentent aucun défaut. La figure ci-dessous fait ressortir qu'*Eucalyptus robusta* est atteint très fortement par le dessèchement de cime.

Taux de survie (âge 5 ans) _____ %

11: fortement dégradée	63
12: +/- dégradée	74
21: typique polyédrique	94
22: typique épandage quartz	91
31: rajeuni	92
33: rajeuni couche quartz	86
34: rajeuni tronqué rose	78

Qualité (tous sols confondus)



Les reboiseurs paysans observent également que cette espèce est plus sensible au dessèchement de cime qu'*Eucalyptus camaldulensis*. Ceci commence à se présenter pendant la saison sèche (hiver) et continue à se manifester par une déformation de la cime par des rejets aux troncs. Son meilleur comportement est observé sur des sols plus humides, près des courants d'eau.

4.5. Eucalyptus grandis

a. Description générale (selon PIRL, 1990)

<p><u>Aire d'origine</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Australie: Nouvelle-Galles du Sud et au sud du Queensland on le trouve sur des plaines alluviales et sur les bas versants des vallées des environs de New-Castle - altitude de 0 à 600 m; au nord de la distribution 500 - 1100 m 	<p><u>Caractères morphologiques</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - arbre de grande taille <ul style="list-style-type: none"> * généralement 45 à 55 m de hauteur * 1.2 à 2 m de diamètre - de forme généralement excellente, tronc droit
<p><u>Conditions climatiques</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - climat chaud - humide - Temp. moyenne max. mois plus chaud: 24 - 30 °C Temp. moyenne min. mois plus froid: 3 - 8 °C - Pluviométrie annuelle: 1000 à 3500 mm (en 90 à 110 jours) type à maximum estival bien distinct au nord et au centre du Queensland 	<p><u>Conditions stationnelles</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - espèce de terrasse et bas de pente de vallées encaissées et fertiles - ne pousse pas sur les crêtes sèches - sols: préfère limons frais et friables de bonne fertilité, bien drainés d'origine alluviale et volcanique; aime proximité de l'eau mais ne pousse pas dans les zones saturées d'eau - roches mères variées

b. Hautes-Terres Centrales (Madagascar) (selon PIRL, 1990)

<p><u>Comportement</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - bien adaptée sur les Hauts-Plateaux (versant oriental) où elle présente les meilleurs accroissement et diamètre et en hauteur. Production de 50 à 80 m³/ha/an 	<p><u>Arboreta:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Ambatobe: h=30m; d=31cm; q=40cm (âge 26 ans) - Angavokely: h=35m; d=32cm; q=45cm (âge 33 ans)
<p><u>Caractéristiques technologiques et utilisations</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - bois très léger et très tendre, à retrait moyen, moyennement nerveux, faible résistance à la compression, peu résistant aux chocs, résilience faible - usinage facile, séchage rapide mais risques de fentes - contraintes de croissance importants (éclatement du fût) surtout lorsque l'arbre pousse vite - utilisations: parquet, pâte à papier, charpente légère, menuiserie, charpente lamellée-collée, feuille de déroulage, voliges, plafonds et habillage, poteaux de lignes, bois de chauffe, carbonisation 	

Malgré ses fortes potentialités de croissance, cette espèce est peu utilisée par rapport à *Eucalyptus robusta*, vu qu'elle présente certaines faiblesses:

- capacité à rejeter s'estompant rapidement;
- résistance au feu moins bonne;
- espèce moins frugale;
- bois présentant des défauts importants.

Comme *Eucalyptus robusta*, cette espèce est mieux adaptée à la zone du versant oriental (meilleures performances de croissance sur la deuxième falaise).

c. Résultats obtenus par type de sol dans la région d'Ambatofotsy

Cette espèce qui présente des accroissements spectaculaires dans la falaise orientale (région centrale, versant oriental Est) n'est guère à recommander sur le versant occidental.

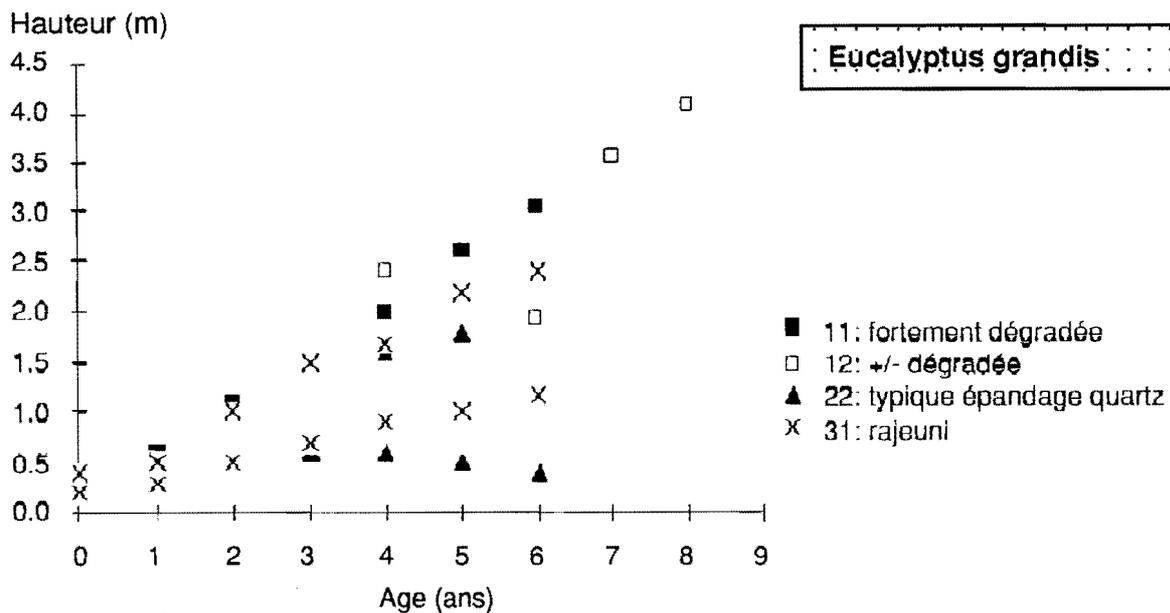
Bien que la parcelle réalisée dans l'arboretum d'Ambatobe (même conditions que la région d'étude) ait réussi, l'espèce est plus exigeante du point de vue humidité et qualité du sol qu'*Eucalyptus camaldulensis* et *E. robusta*. En plus, vu les faiblesses mentionnées ci-dessus, cet eucalyptus n'est pas apte pour des réalisations paysannes en reboisement.

Son meilleur comportement des 6 placettes installées, s'observe sur les sols à structure fortement et moyennement dégradée. Les autres sols qui sont plus sensibles à la sécheresse s'y prêtent moins. La mortalité y est aussi plus élevée.

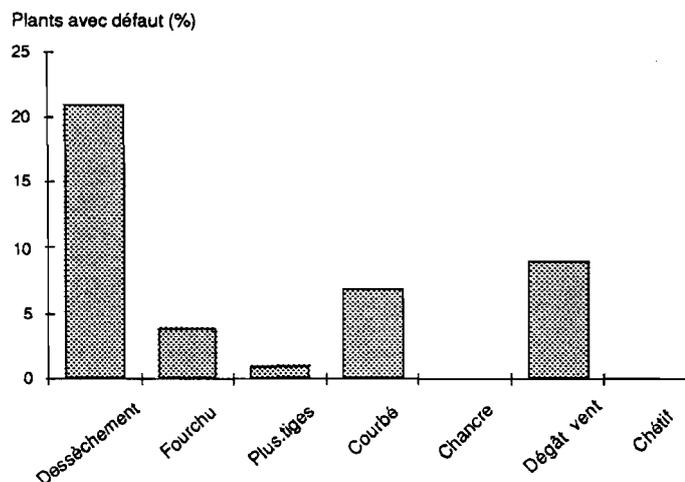
Qualitativement, l'espèce est un peu moins sensible au dessèchement de cime que les deux autres eucalyptus présentés ci-dessus.

Les paysans qui ont planté cette espèce ont observé que les plants poussent bien durant les deux premières années, mais présente après de dessèchement de cime jusqu'à ce que les jeunes arbres meurent.

Nous ne recommandons plus la plantation de cette espèce en afforestation sur tanety sur le versant occidental.



Taux de survie (âge 5 ans)	%	Qualité (tous sols confondus)
11: fortement dégradée	92	
12: +/- dégradée	90	
22: typique épandage quartz	69	
31: rajeuni	79	



4.6. *Callitris* sp.

D'après les rapports d'activités du Projet d'Appui au Reboisement Villageois (PARV), des plants des espèces:

- *Callitris calcarata* (= *C. endlicheri*)
- *C. glauca* (= *C. robusta*) et
- *C. rhomboïdea* ont été mis en place.

Il nous a été impossible de distinguer ces trois espèces dans les placettes permanentes d'observation, du fait que

la détermination botanique n'était pas possible.

Selon leur comportement dans les 2 arboreta Ambatobe et Angavokely, situés à proximité de la zone d'étude, *Callitris endlicheri* et *C. rhomboïdea* se sont assez bien adaptées.

La description générale et leur comportement sur les Hautes-Terres ci-dessous donnent quelques informations générales sur ces espèces.

a. Description générale (selon PIRL, 1990)

<u>Aire d'origine</u> - Australie: Queensland et Nouvelle-Galles	<u>Caractères morphologiques</u> - arbre de taille moyenne à petite (9 à 15 m de haut) atteignant parfois 20 m dans les conditions favorables - Seul <i>C. glauca</i> produit de bois d'oeuvre dans son aire d'origine
<u>Conditions climatiques</u> - <i>C. calcarata</i> : climat chaud subhumide - <i>C. glauca</i> : climat chaud tempéré à subtropical	<u>Conditions stationnelles</u> - ces espèces poussent en général sur des sols infertiles qui sont souvent sableux ou rocheux (BOLAND et al., 1984)

b. Hautes-Terres Centrales (Madagascar) (selon PIRL, 1990)

<p><u>Comportement</u></p> <ul style="list-style-type: none">- sur le versant oriental, <i>C. calcarata</i> et <i>C. rhomboïdea</i> ont trouvé des conditions favorables à leur développement. Ces espèces s'éclaircissant très peu naturellement, les parcelles des arboreta sont très denses, les accroissements individuels sont donc faibles et les peuplements très instables et très sensibles aux coups de vent- sur le versant occidental (arboreta Ihosy), les <i>Callitris</i> sp sont moins vigoureux et dépérissent plus rapidement	<p><u>Arboreta:</u></p> <ul style="list-style-type: none">- Ambatobe: <i>C.calcarata</i>: h=15m; d=20cm; q=23cm (âge 31 ans) <i>C.rhomb.</i>: h=18m; d=23cm; q=27cm (âge 31 ans)- Angavokely: <i>C.calcarata</i>: h=17m; d=18cm; q=23cm (âge 36 ans) <i>C.rhomb.</i>: h=19m; d=20cm; q=25cm (âge 35 ans)
<p><u>Caractéristiques technologiques et utilisations</u></p> <ul style="list-style-type: none">- <i>C.rhomboïdea</i>: bois dur et mi-dur, présentant beaucoup de défauts (incrustation d'écorces), moyennement nerveux, raide, peu résistant aux chocs, séchage facile- <i>C.calcarata</i>: bois dur et lourd, peu nerveux, peu résistant aux chocs, séchage facile- Utilisation: en caisserie, plafond et habillage d'intérieur, menuiserie légère, chauffage et carbonisation	

c. Résultats obtenus par type de sol dans la région d'Ambatofotsy

En général, les plants de *Callitris* ont été installés dans la zone d'étude sur des sols pauvres à cause de leur pouvoir d'adaptation sur des sols infertiles dans leur aire d'origine.

Les figures ci-dessous montrent que les plants de *Callitris* sp présentent des faibles accroissements en hauteur. Le meilleur comportement est observé sur une station avec un *sol ferrallitique typique à structure fortement dégradée*.

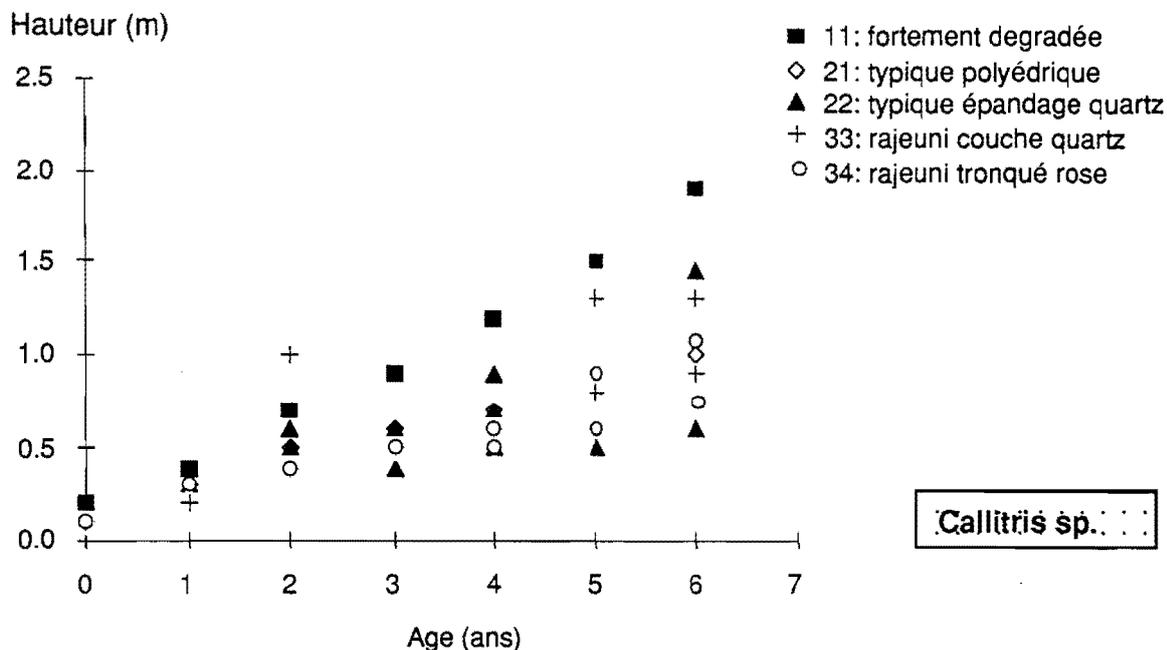
Les taux de survie sont assez élevés et la qualité des plants n'est pas trop mauvaise, mis à part le défaut de "dessèchement de cime".

Il est à observer que certains plants à l'intérieur des placettes permanentes

démarrent leur croissance seulement à l'âge de 5 ans. Ceci peut être un indice que cette espèce est sensible à la toxicité aluminique (?) qui se présente par poche dans la localisation et qui semble conditionnée par le micro-relief ou la nature spécifique de la roche-mère.

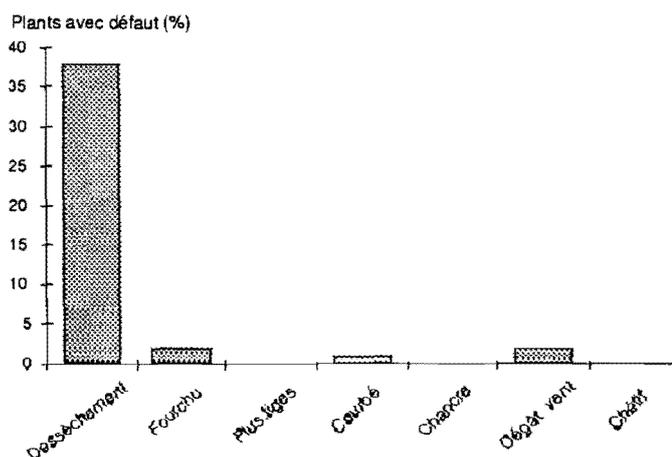
Malgré les croissances relativement faibles, les taux de survie se relèvent assez élevés (> 75 %). Du point de vue qualité, les plants souffrent de dessèchement de cime (38 % de tous les plants).

Les reboiseurs paysans observent que le meilleur comportement se présente sur des stations humides. Par contre, l'espèce d'après eux supporte mal les endroits exposés au soleil.



Taux de survie (âge 5 ans) % Qualité (tous sols confondus)

11: fortement dégradée	94
21: typique polyédrique	75
22: typique épandage quartz	95
33: rajeuni couche quartz	82
34: rajeuni tronqué rose	80



Nous proposons de maintenir pour l'instant la poursuite des observations sur le comportement de *Callitris* dans le dispositif des placettes permanentes, bien qu'on puisse s'interroger sur l'opportunité de leur plantation par des paysans (croissance très lente, litière inexistante).

Une éventuelle poursuite des essais de comportement avec *Callitris* devrait se faire:

- soigneusement en distinguant les différentes espèces,
- en évaluant la performance de ces espèces aussi sur les meilleurs sols,
- en testant les effets de l'inoculation et en augmentant le pH des sols à la plantation par l'application de dolomie (réduction de la toxicité aluminique),
- et en les introduisant dans les reboisements de *pins* ou d'*eucalyptus* comme sous-bois, mais avec une bonne préparation du sol (trouaison, evtl. paillage).

4.7. *Acacia dealbata*

a. Description générale (selon PIRL, 1990)

<u>Aire d'origine</u> - Australie: sud orientale, Tasmanie	<u>Caractères morphologiques</u> - petit arbre à feuillage persistant, pouvant atteindre 10 m de haut
<u>Conditions climatiques</u> - climat: froid à chaud subhumid - Temp. moyenne mois plus chaud: 20-28 °C Temp. moyenne mois plus froid: ca. 0 °C - 20 à 80 jours avec gelées par an - Pluviométrie annuelle: 600 - 1000 (1500) mm	<u>Conditions stationnelles</u> - sols: moyennement profonds et fertile, mais tolère aussi sols argileux si bon drainage - résistante au froid, mais craint le calcaire - espèce peu longévive et rejetant mal de souche, mais se régénérant abondamment par semis

b. Hautes-Terres Centrales (Madagascar) (selon PIRL, 1990)

<u>Comportement</u> - le mimosa est largement représenté sur les Hauts Plateaux - sur le versant oriental: permet d'embroussailler terrains peu fertiles	<u>Arboreta:</u> - Angavokely: h=10m; d=25cm (âge 33 ans) mauvais état sanitaire
<u>Caractéristiques technologiques et utilisations</u> - espèce ornementale, présente également un intérêt fourrager (feuilles étant volontiers broutées) - arbres à tanins - production de charbon de bonne qualité	

c. Résultats obtenus par type de sol dans la région d'Ambatofotsy

Cette espèce a été introduite dans les reboisements comme sous-bois (deux lignes sur dix). Lors de la mise en place, une trouaison de plus petites dimensions a été choisie. Par sa capacité fixatrice d'azote, cette espèce a été mise en place pour enrichir la fertilité des sols ou pour l'embroussaillage des terrains infertiles.

Le comportement de cette espèce est assez décevant dans la région d'étude. Les résultats des 5 placettes

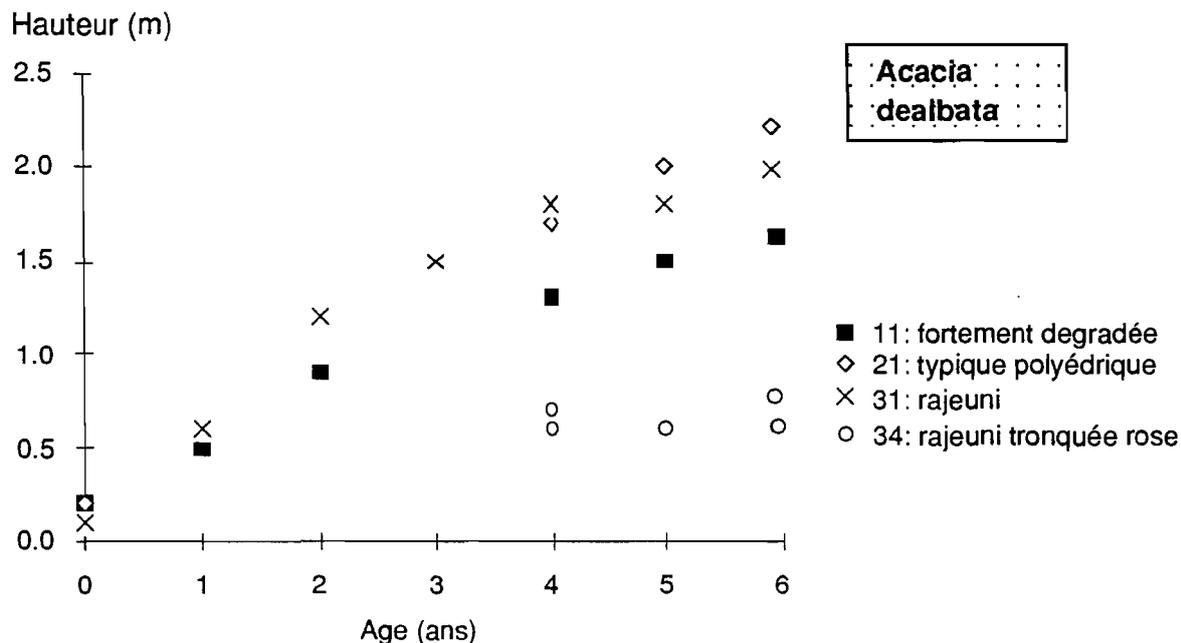
d'observation comme ceux obtenus dans les périmètres de reboisement montrent que l'espèce n'est pas vigoureuse sur les sols pauvres (faible croissance, mortalité élevée). Seulement sur les meilleurs sols (*sols rajeunis, sols typiques à structure polyédrique*), le *mimosa* présente une croissance satisfaisante.

Il est possible que cette espèce n'arrive pas à se développer à cause d'un problème de mycorhizes (?). D'ailleurs il est à noter que cette espèce est beaucoup moins fréquente dans la zone étudiée que par exemple dans la région

d'Antsirabe ou sur le versant oriental de la région centrale.

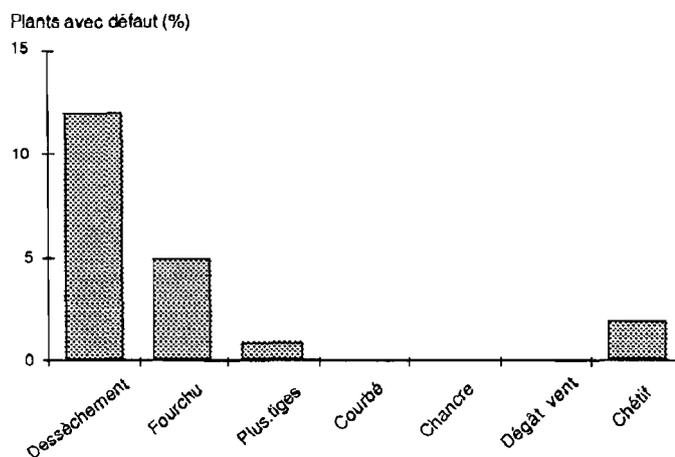
Par ses caractéristiques intéressantes (bois de chauffe et charbon de bonne qualité, amélioration des sols pauvres),

le *mimosa* sera maintenu dans la liste des espèces à potentiel. Mais des essais d'inoculation et/ou d'application de dolomie à la préparation du sol s'avèrent nécessaires.



Taux de survie (âge 5 ans) % Qualité (tous sols confondus)

11: fortement dégradée	36
21: typique polyédrique	75
31: rajeuni	89
34: rajeuni tronqué rose	76



4.8. *Casuarina cunninghamiana*

a. Description générale (selon PIRL, 1990)

<p><u>Aire d'origine</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Australie: est et nord; sud de la Nouvelle-Gales du Sud au nord du Queensland 	<p><u>Caractère morphologiques</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - arbre de 20 à 25 m de hauteur (pouvant atteindre 30 m), avec diamètre supérieur à 1.5 m
<p><u>Conditions climatiques</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - climat: chaud - subhumid (aussi en zones semi-arides) - dans les parties les plus chaudes, temp. dépassent 32 °C pendant 100 jours; en haute altitudes: températures minimales de - 8 °C (50 gelées par an) - pluviométrie annuelle: 600 à 1100 mm 	<p><u>Conditions stationnelles</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - en lisières des fleuves et des vallées adjacentes; s'étend sur courte distance sur des sites rocheux au-dessus des rivières - sols principalement gréseux, mais incluant de terreaux argileux; aussi sur des sols argileux; sols acides ou presque neutres

b. Hautes-Terres Centrales (Madagascar) (selon PIRL, 1990)

<p><u>Comportement</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - peu utilisée en reboisement, mais il est possible d'observer de nombreux arbres d'alignements qui ont un croissance satisfaisante 	<p><u>Arboreta:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Ambatobe: de faible vigueur (h=15m; d=14cm, 28 ans) - Angavokely: h=15m; d=26cm; q=31cm (âge 35 ans)
<p><u>Caractéristiques technologiques et utilisations</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - bois très lourd de dureté moyenne, résistant mais fissile - bois difficile à travailler et à raboter, il nécessite des précautions au collage et au perçage pour clouage - utilisations: fabrication de tonneaux, perches, objets tournés ornementaux, parquets, excellent combustible - en Australie, les jeunes arbres servent de pâturage au bétail. Le feuillage est utilisé comme fourrage sec, et par les teinturiers 	

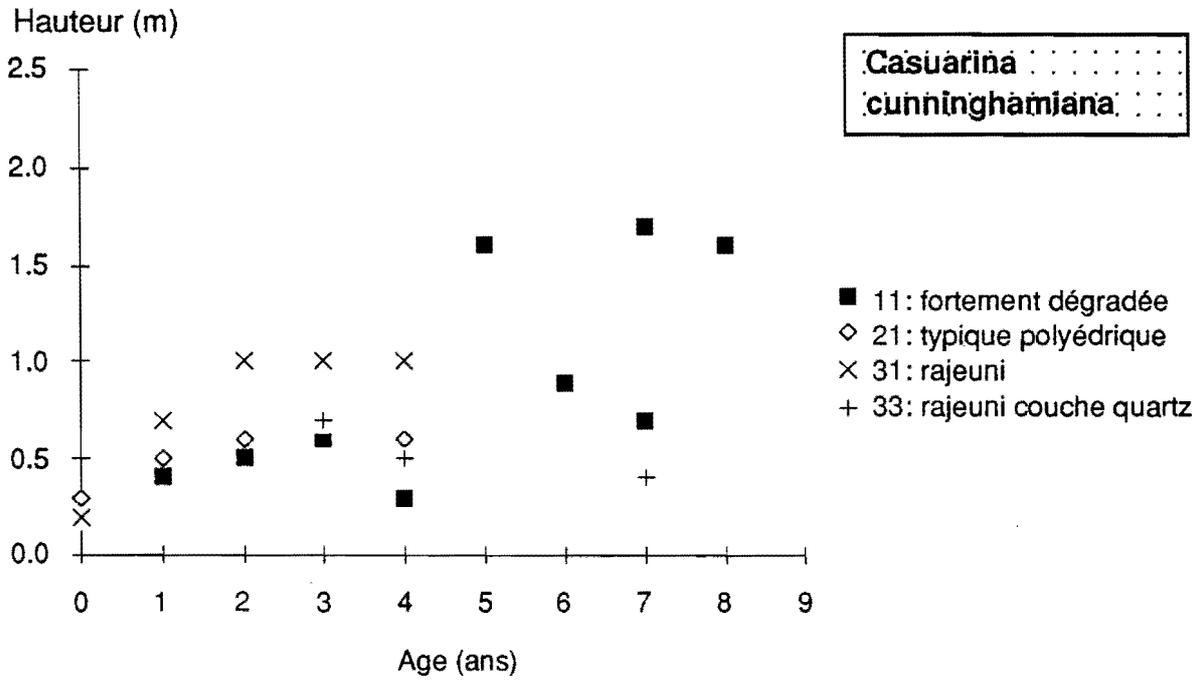
c. Résultats obtenus par type de sol dans la région d'Ambatofotsy

Les résultats de comportement, obtenus avec le suivi des placettes permanentes, montrent que cette espèce ne se prête pas pour les reboisements sur périmètres. En général, après une croissance initiale rapide, les hauteurs des arbres stagnent après 2 à 3 ans et puis souffrent de dessèchement de cime et de feuillage jaunâtre. D'ailleurs les

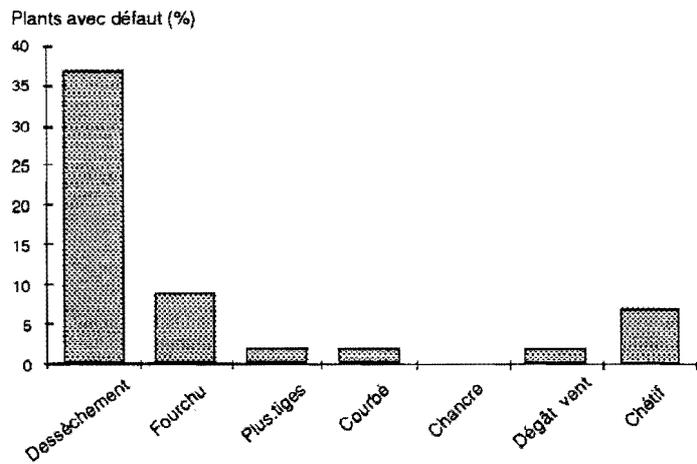
paysans émettent les mêmes remarques.

Seulement quelques arbres isolés, à observer autour des habitations de la région, montrent un comportement satisfaisant.

Le reboisement en périmètre est à déconseiller dans la région centrale sur le versant occidental.



Taux de survie (âge 5 ans)	%	Qualité (tous sols confondus)
11: fortement dégradée	100	
21: typique polyédrique	80	
31: rajeuni	92	
33: rajeuni couche quartz	70	

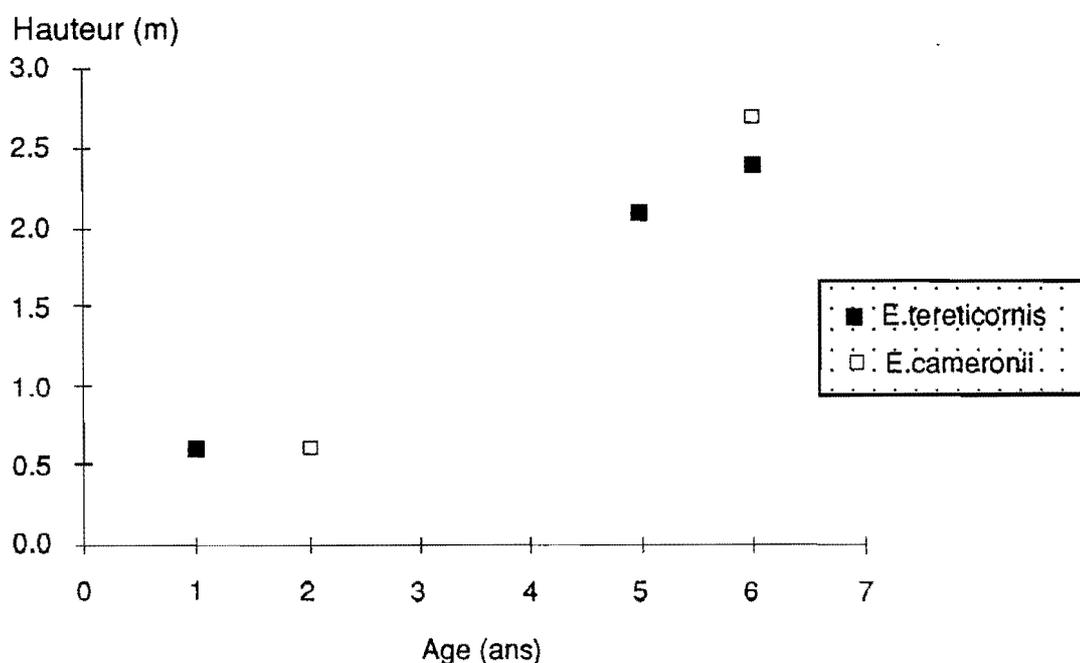


4.9. Autres espèces

Pour d'autres espèces, une à deux placettes d'observation ont été également installées dans les stations d'Ambatofahavalo (*sols typiques à structure dégradée*) et d'Ambohimiadana-Nord (*sols typiques à structure polyédrique et sols rajeunis*).

Seulement les *Eucalyptus tereticornis* et *E. cameronii* montrent des croissances satisfaisantes, mais elles n'atteignent pas les mêmes performances qu'*Eucalyptus camaldulensis*.

La figure ci-dessous présente les hauteurs moyennes obtenues par ces 2 espèces. Les taux de survie sont respectivement très élevés pour *E. tereticornis* (97 % à l'âge de 6 ans) et faibles pour *E. cameronii* (67 %).



Les autres espèces testées qui ont échoué ne sont pas commentées, mais leur références sont résumées sous forme de tableaux dans le prochain chapitre.

5. Conclusions et recommandations

Les conclusions suivantes peuvent être tirées du suivi du comportement des espèces testées à travers le dispositif des placettes permanentes et les observations faites dans les parcelles de reboisement villageois à Atsimondrano, située dans la région centrale - zone du versant occidental:

- *Conditions pédo-climatiques difficiles*

En général, la région est confrontée à des facteurs pédo-climatiques contraignants qui induisent un contexte défavorable à une foresterie paysanne productive et à la plantation "rentable" d'arbres sur tanety.

Les conditions du milieu sont caractérisées par les aléas du régime pluviométrique (distribution irrégulière de pluies, le nombre de mois secs élevés), la faible fertilité des sols (basse teneur en matière organique, propriétés chimiques et physiques défavorables, phénomènes de toxicité aluminiques).

Le passage répété des feux de brousse, à part ses effets néfastes sur les efforts de reboisement, s'ajoute encore aux conditions pédologiques difficiles.

- *Choix limité d'espèces forestières*

Plus d'une centaine d'espèces forestières exotiques ont été testées (Arboretum d'Ambatobe - plantation entre 1956 et 1962, essais de comportement d'espèces forestières dans le cadre du Projet de Reboisement Villageois PARV et du Centre FAFIALA - à partir de 1984), afin d'identifier des essences adaptées aux conditions de la région centrale des Hautes-Terres.

Malgré tous ces efforts, le choix reste limité à quelques espèces des genres *Eucalyptus* et *Pinus*. En plus, les paysans préfèrent les *eucalyptus* dans leur logique de minimisation des risques (capacité de rejeter de souches et résistance aux passages de feux de brousse) et des revenus plus fréquents et réguliers (possibilité d'exploitation en taillis).

Jusqu'à maintenant, aucune autre espèce frugale (rustique) adaptée aux tanety dénudés n'a pas pu être identifiée. Il y a *Acacia dealbata* qui se prête pour une implantation comme sous-bois, mais seulement sur des stations plus ou moins favorables. Les autres espèces, réputées capable de régénérer les sols (fixatrices d'azote), semblent être toutes trop exigeantes.

Toutefois, sur des stations plus favorables (sols rajeunis sur pente et sols en bas de pente, régime hydrique plus favorable) et dans des dispositifs agroforestiers (plantation d'arbustes en haies vives, en jachères améliorées ...), une gamme d'espèces plus diversifiées peut être utilisée.

Les espèces autochtones sont seulement présentes dans quelques reliques de forêts naturelles, dans des anciens sites et autour de certaines habitations. La revalorisation de quelques espèces (*Craspidospermum*, *Phyllanthron* ...) n'est possible que dans des boisements intégrés aux cultures et à l'habitat rural ou dans des lavaka sur sites particuliers.

- *Hétérogénéité des plantations et faible croissance des arbres*

En général, la croissance des arbres est assez décevante et le potentiel de production est faible.

A part la meilleure productivité des plantations d'*Eucalyptus camaldulensis*

sur des meilleurs sols (pente faible à moyenne) et de *Pinus kesiya*, réalisées sur des stations à pente moyenne à forte sur des sols *rajeunis*, les accroissements annuels en hauteur se situent entre 0.1 et 0.4 m/an au stade juvénile en plantation !

En plus, une grande partie des reboisements réalisés sont très hétérogènes (des arbres de la même espèce distants de quelques mètres sur la même parcelle présentent une différence d'accroissement énorme), mal venant, rabougris, présentant un "nanisme" chez certains plants... A l'heure actuelle, nous n'arrivons pas à expliquer les causes provoquant ces phénomènes.

C'est pour cette raison qu'une recherche plus approfondie, dans le cadre d'une formation de 3ème cycle¹⁸, sera réalisée pour contribuer à l'étude des facteurs de réussite du reboisement sur les tanety des Hautes-Terres Centrales, en particulier sur les sites difficiles.

- *Mauvaise relation coût - bénéfice, ne permettant pas une dynamique locale de reboisement*

Le coût de reboisement en périmètre sur tanety est élevé et représente une lourde charge pour la famille paysanne. En matière de reboisement, une dynamique locale n'est possible que si les paysans peuvent récupérer au moins les investissements effectués.

La mauvaise qualité des sols et les conditions climatiques difficiles nécessitent une bonne préparation du

sol et des entretiens réguliers. En plus, les expériences ont montré que l'utilisation des plants en sachets à prix de revient élevé, est à recommander pour permettre un meilleur démarrage. Les plants produits en boulettes présentent des avantages non négligeables (coût de production plus basse, possibilité de contrôle de présence de mycorhizes - chez les pins par exemple - pas d'enroulement de racines au stade en pépinière), mais leur élevage en milieu paysan est assez délicat (exigence d'un substrat équilibré). En plus, le calendrier de plantation concurrence celui des travaux de rizières, surtout quand les pluies accusent des retards.

Par ailleurs, les revenus issus des reboisements sont modestes du moins durant les premières années vu que les exploitations ne sont possibles qu'après au moins 10 à 15 ans (exceptions plantations de *Pinus kesiya* sur sols *rajeunis* (RAMBELOARISOA, 1994).

Les grands efforts de reboisement, déployés par des paysans dans la zone (1'500 ha réalisés depuis 1984 dans 3 Firaisana) ont été, à part l'action intense d'un projet d'encadrement bien organisé, sans doute influencés par les motivations pour l'acquisition des terres domaniales. En tout cas, le faible potentiel physique ne permet guère une dynamique locale de reboisement hors terres domaniales libres (sur terres privées par exemple). Par contre, dans des régions où les conditions climatiques sont plus favorables à l'arbre, les boisements peuvent conquérir les terres et constituer un des principaux facteurs de l'économie (cas de Manjakandriana avec *Eucalyptus robusta*).

Pour mieux apprécier cet hypothèse, PLEINES (1994) étudiera au niveau micro-économique dans la même zone

¹⁸ cette étude sera réalisée par G.RAMBELOARISOA à l'Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques - Département des Eaux et Forêts

d'étude, à contexte défavorable pour l'arbre, les perceptions paysannes de l'intérêt économique du reboisement, du point de vue des paysans.

Handicapé par des conditions de sols et de climat moins favorable à l'arbre, le marché d'Antananarivo garde toutefois des avantages comparatifs non négligeables pour ces régions proches surtout quand elles sont désenclavées. En plus, les besoins de protection du sol sont par ailleurs très importants pour cette région. Ce raisonnement justifie le soutien de la foresterie paysanne (BDPA SCETAGRI et al., 1994).

Recommandations destinées pour la diffusion

- *Connaissance des conditions pédologiques*

La présente étude a mis en évidence l'importance de la bonne connaissance des modèles du paysage et des types de sol qui leur sont associés. Le sol est un élément primordial à considérer pour le choix d'espèce. Les conditions pédologiques influencent non seulement la productivité des boisements, mais aident le technicien pour conseiller les paysans dans la mise en place et le choix du type de boisement à adopter dans le cadre de l'aménagement du terroir. La plupart des sols étant très pauvres chimiquement, c'est aux propriétés physiques (notamment la présence des horizons peu ou pas

- *Connaissances non suffisantes en ce qui concerne les solutions forestières à diffuser à court terme, particulièrement sur les stations marginales*

Pour les stations marginales (terres érodées, décapées, caillouteuses), en fait de vocation forestière, les connaissances techniques sont insuffisantes. La recherche n'a pas encore pu ressortir des solutions qui soient à la portée des paysans. Or, le maintien de ces zones sous couverture végétale et en particulier forestière est vitale pour préserver l'équilibre écologique et pour protéger toute la partie aval des actions néfastes de l'érosion.

franchissables par le système racinaire) que'une attention particulière doit être accordée.

Une place importante dans les sessions de formation dans le cadre de la mise en valeur des tanety doit être réservée à la bonne compréhension des conditions pédologiques des Hautes-Terres Centrales.

- *Choix d'espèces*

Le tableau suivant résume l'état de connaissance en ce qui concerne le choix d'espèces en fonction de leur adaptation et de leurs limites au milieu (type de sol, feux, appréciation paysanne) et présente les principaux défauts par espèce (les espèces sont présentées par ordre d'importance):

Espèce	Comportements	Principaux défauts et limites
<p><i>Eucalyptus camaldulensis</i></p> <p>Provenance:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Petford - Katherina 	<p>Croissance moyenne à bonne sur sols typiques (21) et dégradés (11/12)</p> <p>Taux de survie élevé</p> <p>Apprécié par paysans (à cause de sa croissance, résistance aux feux et possibilités d'exploitation en taillis)</p>	<p>Comportement moyen sur sols rajeunis (31) et non recommandé sur sols fortement rajeunis et peu évolués (32, 42)</p> <p>Défauts principaux: dessèchement de cime et présence de plusieurs tiges</p> <p>Cette espèce est sensible à la concurrence herbacée</p>
<p><i>Pinus kesiya</i></p>	<p>Bonne croissance sur sols rajeunis (31/32), moyenne à bonne sur sols typiques (21)</p> <p>Taux de survie en général élevé</p>	<p>Principal défaut: fourchu</p> <p>Croissance médiocre sur sols dégradés (11/12) et tronqués et/ou épandage de quartz (22/33/34/42). Par une bonne mycorhization, leur comportement sur ces sols est meilleur (à confirmer, cf. 4.1.)</p> <p>A cause de sa sensibilité aux feux de brousse et l'âge d'exploitation élevé (sauf sur meilleures stations), les paysans préfèrent <i>E.camaldulensis</i></p>
<p><i>Eucalyptus robusta</i></p>	<p>Moins performante qu'<i>E.camaldulensis</i></p> <p>Comportement moyen sur sols typiques (21) et rajeunis (31)</p> <p>Par contre, l'espèce est très bien adaptée plus à l'est sur versant oriental de la région centrale (région Manjandriana par exemple)</p>	<p>Principaux défauts: dessèchement de cime et fourchu</p> <p>Croissance médiocre sur sols dégradés (11/12), sur sols rajeunis et peu évolués qui sont tronqués et/ou avec épandage de quartz (33/34/42)</p> <p>Les paysans préfèrent <i>E.camaldulensis</i></p>
<p><i>Pinus eliottii</i></p>	<p>Moins performante que <i>Pinus kesiya</i></p> <p>Essais de confirmation nécessaires pour recommander l'espèce sur sols rajeunis (31) ou sols typiques (21)</p>	<p>Principaux défauts: dessèchement de cime et présence de plusieurs tiges</p> <p>Croissance médiocre sur sols dégradés (11/12), sur sols rajeunis et peu évolués qui sont tronqués et/ou avec épandage de quartz (33/34/42)</p>
<p><i>Acacia dealbata</i></p>	<p>Croissance plus ou moins satisfaisante sur sols typiques (21) et sols rajeunis (31)</p> <p>Essais de préparation de sols (apport dolomie) et d'inoculation sont nécessaires</p>	<p>En général, le <i>mimosa</i> n'a pas répondu aux attentes par rapport à son introduction prévue sur sols de basse fertilité</p> <p>Croissance médiocre sur sols dégradés (11/12) et sols tronqués (33 par exemple)</p>

Espèce	Comportements	Principaux défauts et limites
<i>Callitris</i> sp.	Malgré comportement moyen, maintien des <i>callitris</i> pour l'instant dans la gamme d'espèces à potentiel, mais essais de comportement sont nécessaires pour tester adaptation sur sols plus fertiles (21, 31, 41)	Principal défaut: dessèchement de cime Espèce pour l'instant est à abandonner sur sols de basse fertilité (11/12/22/33/34/ 42)
<i>Eucalyptus tereticornis</i> <i>E. cameronii</i> <i>E. maculata</i>	Peu d'informations disponibles (manque parcelles d'observation) Prévoir essais de comportement sur sols typiques (21)	Ces 3 espèces n'atteignent pas les performances d' <i>E.camaldulensis</i> (du point de vue croissance et qualité)
<i>Eucalyptus grandis</i> <i>Casuarina cunninghamiana</i>	Ces 2 espèces sont à abandonner: <i>E. grandis</i> est trop exigeante par rapport au régime hydrique et <i>Casuarina</i> montre des croissances médiocres et les plants sont de mauvaise qualité	

D'après les observations faites dans la région d'étude, les espèces suivantes ne sont pas adaptées pour les reboisements en périmètre d'implantation sur tanety dans la région centrale des Hautes-Terres sur le versant occidental:

<i>Acacia mearnsii</i>	<i>Eucalyptus pilularis</i>
<i>Casuarina equisetifolia</i>	<i>Eucalyptus saligna</i>
<i>Casuarina suberosa</i>	<i>Pinus caribea</i>
<i>Cupressus lusitanica</i>	<i>Pinus oocarpa</i>
<i>Grevillea banksii</i>	<i>Pinus patula</i> (moins performant que <i>Pinus kesiya</i>)
<i>Eucalyptus citriodora</i>	
<i>Eucalyptus globulus</i> (ssp <i>maidenii</i>)	<i>Pinus radiata</i>

Par contre, les espèces suivantes ne sont pas adaptées dans les reboisements en périmètre sur tanety, mais sont à prendre en considération pour leur mise en place dans des systèmes agroforestiers en bas de pente et pour l'arborisation autour des habitations et des champs de culture.

<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>
<i>Grevillea robusta</i>
<i>Melia azedarach</i>

• Utilisation de graines de qualité

L'utilisation de semences de qualité provenant d'un matériel végétal adapté à la zone est indispensable pour une meilleure productivité des boisements. L'expérience des reboisements industriels (Matsiatra notamment les premières années) montre qu'une économie sur les semences (récoltées n'importe où et sur n'importe quels arbres) entraînait des pertes de productivité considérables. Ceci est d'autant plus grave que le mal n'apparaît que tardivement (BDPA SCETAGRI et al., 1994).

Il est à noter que depuis 20 années, de grands efforts de sélection ont déjà été effectués à Madagascar surtout pour des Eucalyptus et des Pins, notamment par DRFP-FOFIFA et CTFT (CIRAD-Forêts). La production et la commercialisation des semences sélectionnées est assurée par le Silo National des Graines Forestières, un

Recommandations en matière de recherche appliquée

** Poursuite de la recherche appliquée permettant de promouvoir une foresterie paysanne*

Vu les difficultés écologiques de la zone centrale du versant occidental et la faible productivité des plantations, la poursuite de la recherche appliquée s'avère nécessaire. La promotion d'une foresterie paysanne doit s'appuyer sur une solide base de connaissance technique.

Par rapport à l'élaboration d'un choix d'espèces de reboisement conforme aux stations, les recommandations suivantes peuvent être faites:

organisme à statut EPIC, basé à Antananarivo.

• Elevage des plants en pépinière et préparation du sol

L'élevage des plants en sachets avec un substrat équilibré est à conseiller, malgré son coût plus élevé par rapport à la production en boulette. Le démarrage des plants produits en pots est plus rapide (substrat de terre de bonne qualité) et le taux de reprise est généralement élevé. L'enroulement des racines peut être évité par un cernage régulier.

Les observations confirment qu'une bonne trouaison (40x40x40 cm) est nécessaire pour la mise en place des plants sur les sols des tanety. Seulement, sur des sols avec des propriétés physiques plus favorables (sols rajeunis et sols peu évolués), les dimensions de la trouaison peuvent être diminuées davantage (alternative: banquettes individuelles).

• Mise en place d'un dispositif d'observation (selon SORG, 1987)

L'installation d'un dispositif d'observation dès le démarrage d'une action de reboisement d'une certaine importance dans une région est vivement conseillée. Ces dispositifs permettent d'une part d'obtenir rapidement des données chiffrées en vue d'une amélioration du choix d'essences et d'autre part d'assurer un suivi du comportement à plus long terme.

Quant à la méthodologie d'installation, les recommandations suivantes peuvent être faites, en tenant compte des propres expériences:

- ces dispositifs devraient incorporer au moins toutes les espèces principales de reboisement, en tenant compte des priorités paysannes (bois de chauffe, bois d'oeuvre ...);
- en ce qui concerne le choix du (des) terrain(s), il faut tenir compte de la représentativité des types de sols (éventuellement de l'altitude), il aura donc plusieurs placeaux par espèce;
- l'installation de placettes incluant toutes les espèces sur une seule parcelle par type de station est à recommander (contrôle et suivi plus facile). Toutefois il faut veiller à l'homogénéité des conditions pédologiques;
- les placettes d'observation devraient comporter entre 25 à 30 pieds/placette, avec au moins 2 lignes de bordures;
- il faut veiller à ce que les plants d'un placeau proviennent d'une source de graines homogène (identité botanique des *Eucalyptus* par exemple);
- l'installation de ces réseaux d'observation n'a de sens que si leur suivi peut être assuré à moyen voire long terme (au moins 10 ans à titre indicatif).

• *Extension du choix d'espèces frugales (rustiques)*

Malgré un réel souci de diversification, seules quelques *Eucalyptus* et *Pinus* sont pour l'instant envisageables pour le reboisement villageois en périmètres sur les Hautes-Terres Centrales.

Il est peu probable que dans l'immédiat des essences plus rustiques et plus plastiques que celles de ces deux genres peuvent être identifiées.

Par contre, la recherche et la sélection d'espèces et de provenances d'*Eucalyp-*

tus - adaptées aux conditions pédo-climatiques particulièrement difficiles - sont à poursuivre.

Néanmoins il est fort souhaitable de continuer la recherche d'essences réputées frugales. La recherche bibliographique et le recueil d'informations auprès d'institutions spécialisées sont les outils à privilégier.

Vu la fréquence des stations avec des sols carencés en azote comme le cas des sols ferrallitiques tronqués, la recherche devrait s'intéresser particulièrement aux essences à nodosités fixatrice d'azote, à condition qu'elles puissent noduler. Ceci n'est possible que dans un milieu pédologique à pH plus élevé. Vu leur bas niveau dans la région, d'éventuelles introductions de ces essences doivent probablement être accompagnées par l'utilisation de dolomie.

• *Essais de provenances*

Des essais de provenance sont justifiés pour des espèces comme *Eucalyptus camaldulensis*. Un tel essai a été déjà mis en place dans la zone d'étude en collaboration avec le Silo National des Graines Forestières. Un gain en hauteur de 50 % (à l'âge de 3 ans) a été obtenu avec des provenances nouvellement introduites de l'Australie par rapport à celle qui est vulgarisée actuellement (Provenance Antsanitia).

• *Techniques de préparation de sols*

La fertilisation des plantations est très coûteuse et actuellement hors de portée des paysans qui arrivent à peine à fumer leurs rizières. Des systèmes de subventions pour des engrais chimiques (fumure de fond et en oligo-éléments) sont difficilement à mettre en place et favorisent une dépendance envers des institutions d'appui. En plus, il n'est guère possible que de tels

investissements soient rentables dans un contexte écologiquement défavorable.

Face à ces contraintes, une piste devrait pourtant être poursuivie:

- l'amélioration des pseudo-steppe (bozaka) par des plantes de couvertures légumineuses (arbustives et ou herbacées) avant ou simultanément avec les reboisements. Cette technique peut contribuer à un apport de matière organique et ainsi à une augmentation de la capacité d'échange de cations et de rétention en eau des sols.

Néanmoins pour certaines réalisations d'intérêt communautaire, justifiant des subventions des institutions d'appui publique ou privé (plantations de protection par exemple), la recherche de solutions devrait être poursuivie malgré les contraintes évoquées ci-dessus. Parmi des expérimentations possibles où une analyse d'investissement serait indispensable, nous pouvons évoquer deux types d'interventions:

- au niveau de la pépinière, apport d'engrais phosphore-potassique dans les substrats de terre en vue d'un bon démarrage des plants en plantation;
- technique de chaulage (apport de dolomie par exemple) à la préparation du sol afin d'augmenter le pH du sol (insolubilisation de l'aluminium toxique et meilleure décomposition de la matière organique; cf. RABEZANDRINA, 1993) permettrait d'une part une meilleure nodulation de certaines essences et pourrait augmenter la croissance des plantations d'autre part.

• *Essais d'inoculation*

La non-réussite d'adaptation d'espèces peut être liée à des problèmes au niveau d'associations symbiotiques. Ces associations font intervenir entre autre des champignons (mycorhizes) et des bactéries (association Rhizobium-Légumineuses). Il convient d'entreprendre des essais d'inoculation pour certaines essences à potentiel (*Acacia* sp. ...). Des contacts avec des instituts spécialisés sont à envisager.

BIBLIOGRAPHIE

- ARMITAGE, F.B., et J. BURLEY, 1980, *Pinus kesiya*.
Tropical Forestry Papers No. 9, Commonwealth Forestry Institute,
Department of Forestry, University of Oxford, Oxford, 199 pp.
- BDPA SCETAGRI, GERSAR BRL et EEP DINIKA, 1994, Etude d'aménagement du Bassin
Versant de l'Ikopa dominant la plaine d'Antananarivo.
Rapport Sectoriel C Foresterie, Ministère de l'Aménagement du Territoire/
Bureau du Projet de la Plaine d'Anananarivo, Ministère d'Etat au
Développement Rural et à la Reforme Foncière/Direction des Eaux et Forêts,
Antananarivo, 47 pp.
- BLASER, J. et J.L. RAKOTOMANANA, 1990, Zones de reboisement à Madagascar.
Proposition d'une classification et du choix des essences.
en: Akon'ny Ala, N° 5, Bulletin du Département des Eaux et Forêts de l'ESSA,
Antananarivo, pp. 5-13
- BOLAND et al., 1984, *Forest Trees of Australia*.
Thomas Nelson Australia et CSIRO, East Melbourne, 645 pp.
- BOURGEAT, F. et M. PETIT, 1969, Contribution à l'étude des surfaces d'aplanissement
sur les Hautes-Terres Centrales Malgaches.
Annales de Géographie, N° 426, pp. 158-188
Carte géomorphologique au 1/500'000 publiée par ORSTOM, Tananarive
- BOURGEAT, F., 1972, Sols sur socle ancien à Madagascar. Types de différentiation et
interprétation chronologique au cours du quaternaire.
Mémoire O.R.S.T.O.M., N° 57, Paris, 335 pp.
- BOURGEAT, F., 1989, Rapport de mission à Madagascar. 6 mai - 29 mai 1989.
Intercoopération/Projet d'Appui ESSA Forêts, Antananarivo, 50 pp.
- BOURGEAT, F., 1990, Rapport de mission
Intercoopération/Projet d'Appui ESSA Forêts, Antananarivo, 50 pp.
- BOURGEAT, F., 1991, Compte rendu de la mission effectuée à Madagascar du 23 avril
au 7 mai 1991.
Intercoopération/Projet d'Appui ESSA Forêts, Antananarivo, 26 pp.
- DE LUBLAC, G., W. RAKOTOARISON et M. RANTOANINA, 1963, Etude géologique et
prospection des feuilles Tananarive-Manjakandriana au 1/100'000 (Rapport
fin de campagne 1962).
République Malgache - Ministère d'Etat chargé de l'Economie Nationale -
Service Géologique, Tananarive, 48 pp.
- DONQUE, G., 1971, Contribution géographique à l'étude du climat de Madagascar.
Antananarivo, 478 pp.
- DUCHAUFOR, Ph., 1988, Pédologie.
2^e édition. Masson, Paris, Milan Barcelone, Mexico, 224 pp.
- HUMBERT, H., 1965, Description des types de végétation.
In HUMBERT, H. et G. COURS-DARNE, Notice de la carte de Madagascar.
Trav.Sect.Tech.Inst.Fr. Pondichery, h.s. n° 6, pp. 46-78

- PLEINES, T., 1994, Intérêt économique du reboisement, du point de vue des paysans. Etude de cas dans la région d'Ambatofotsy - Atsimondrano. Travail de diplôme EPFZ (en cours)
- PERRIER DE LA BATHIE, H., 1921, La végétation malache. Ann.Mus.Col., Marseille, 270 pp
- PIRL - Projet Inventaire des Ressources Ligneuses, 1990, Introductions d'espèces exotiques à Madagascar. Rapport de synthèse, Tomes I et II: Région Centrale (Hautes-Terres), zone du versant oriental et Tome III: Région Centrale, zone du versant occidental Ministère de la Recherche Scientifique et Technologique pour le Développement/ Centre National de la Recherche Appliquée au Développement Rural FOFIFA/ Département des Recherches Forestières et Piscicoles
- MINISTERE DE LA COOPERATION ET DU DEVELOPPEMENT, 1991, Memento de l'agronome. Collection "Techniques rurales en Afrique". Quatrième édition, 1635 pp.
- RABEZANDRINA, R., 1993, Régénération par le fumier et les engrais verts de sols ferrallitiques dégradés. en: Terre malgache - tany malagasy, Numéro 23, Université d'Antananarivo/ Ecole Supérieur des Sciences Agronomiques, Antananarivo, pp. 3-40
- RAMANANTSOAVINA, G., 1973, Histoire de la politique forestière à Madagascar. Direction des Eaux et Forêts, Antananarivo, 24 pp.
- RAMBELOARISOA, G., 1994, Bilan du Programme de recherches en Foresterie Paysanne. Etat de connaissance de recherche menées par le PARV et par le Centre FAFIALA. Centre FAFIALA, Rapport-Note de Parcours (en cours)
- RANDRIAMBOAVONJY, J.C., 1990, Délimitation des unités pédomorphologiques dans la zone concernée par les reboisements villageois dans la région d'Ambatofotsy. Mémoire D.E.A. Université d'Antananarivo E.E.S.S., Antananarivo, 73 pp.
- RANDRIAMBOAVONJY, J.C., 1993, Parcours sol dans la région d'Andranomandry - Avaradrano Centre FAFIALA, Antananarivo, 26 pp.
- RAZAFINDRAMANGA, M.L. et J.C. RANDRIAMBOAVONJY 1990, Rapport technique sur l'élaboration de la carte pédomorphologique du Firaisana d'Ambalavao. Département Eaux et Forêts, Antananarivo
- SORG, J.P., 1987, Le programme d'expérimentation du reboisement villageois. Rapport de mission, Intercoopération/Projet d'Appui au Reboisement Villageois et Ecole Polytechnique Fédérale Zurich, Antananarivo et Zurich, 36 pp.
- STREETS, R.J., 1962, Exotic Forest Trees in the British Commonwealth. Clarendon Press, Oxford, U.K., 765 pp.
- WEBB, D.B., WOOD, P.J., SMITH, J. et G.S. HENMAN, 1984, A guide to species selection for tropical and subtropical plantations. CFI Tropical Forestry Papers No. 15, second edition, revised, Oxford. 256 pp.

ANNEXES

- Annexe 1:** Placettes permanentes d'observation: Fiche descriptive
- Annexe 2:** Appellation des Unités morphopédologiques dans les Firaiana d'Ambatofahavalo et Ambalavao - Atsimondrano
- Annexe 3:** Données descriptives, hauteurs moyennes, accroissement moyens annuels et taux de survie par placette permanente d'observation
- Annexe 4:** Résultats par type de sol

Appellation des Unités morphopédologiques dans les Firaisana d'Ambatofahavalo et Ambalavao - Atsimondrano

Unités	Unité morphopédologique: (Ambatofahavalo)	Unité morphopédologique: (Ambalavao)	Niveau d'érosion
Unité 1: <i>Glacis à faibles pentes</i>	Unité 1: Glacis quaternaire		Inférieur
Unité 2: <i>Croupes à larges replats sommitaux</i>	Unité 2: Témoins conservés de la surface d'aplanissement finitertiaire	Unité 1: Témoins conservés de la surface d'aplanissement finitertiaire Unité 3: Témoins plus ou moins conservés du niveau 3 Unité 2: Basses croupes à large replat sommitaux ou glacis disséqués dérivés du niveau 3)	Inférieur
Unité 3: <i>Croupes à étroits replats sommitaux</i>	Unité 3: Large croupes convexes dérivées du niveau 3	Unité 5: Témoins localisés du niveau 3	Inférieur
	Unité 6: Hautes collines convexes Unité 4: Larges croupes convexes et témoins de la surface d'aplanissement méso-tertiare	Unité 4: Hautes collines convexes associées à des replats	Intermédiaire
Unité 4: <i>Croupes et basses collines sans replats sommitaux</i>		Unité 6: Croupes et basses collines dérivées du niveau 3	Inférieur

Unités	Unité morpho-pédologique: (Ambatofahavalo)	Unité morpho-pédologique: (Ambalavao)	Niveau d'érosion
Unité 5: <i>Croupes et basses collines érodées (disséqués)</i>	Unité 5: Étroites croupes convexes dérivées de la surface d'aplanissement fini-tertiaire	Unité 9: Étroites croupes convexes dérivées du niveau 3	Inférieur
	Unité 7: Collines disséquées dérivées de la surface d'aplanissement fini-tertiaire	Unité 8: Croupes et basses collines disséquées	Intermédiaire
Unité 6: <i>Collines avec affleurements de boules de roches sur versants</i>		Unité 7: Reliefs convexes des granites migmatitiques	Intermédiaire
Unité 7: <i>Reliefs érodés à pentes fortes = reliefs de dissection</i>	Unité 9: Reliefs de dissection	Unité 10: Reliefs de dissection	Passage entre les niveaux inférieur et intermédiaire
Unité 8: <i>Reliefs dominants sur granit</i>	Unité 10: Reliefs granitiques résiduels	Unité 11: Reliefs granitiques résiduels	Inférieur et Intermédiaire
Unité 9: <i>Complexe des bas-fonds</i>	Unité 11: Complexe des bas-fonds	Unité 12: Complexe des bas-fonds	Inférieur et Intermédiaire

Numéro placette	Type sol	Altitude (m)	Pente	Exposition	Topographie	Nature surface du sol	Couverture végétale	Campagne	Nombre de plants	Hauteur moyenne (en m)				Accrois. moyen annuel (en m)				Taux de survie (en %)			
										4 ans	5 ans	6 ans	8 ans	4 ans	5 ans	6 ans	8 ans	4 ans	5 ans	6 ans	8 ans

Pinus kesiya

SA35	11	1330	2	8	2	3	3	8889	36	0.7	1.4	2.3		0.2	0.3	0.4		64	61	60	
ONG12	12	1520	3	7	2	3	3	8788	36	1.1	1.5	1.8		0.3	0.3	0.3		92	92	92	
SA04	12	1330	1	8	2	3	3	8485	24	2.2			4.7	0.6			0.6	100		88	
117B	21	1350	3	6	2	3	3	8889	33	1.5	2.3	3.1		0.4	0.5	0.5		100	100	100	
07B	22	1360	4	2	2	2	3	8889	36	1.2	1.4	1.7		0.3	0.3	0.3		94	94	89	
14C	22	1430	2	3	2	3	2	8889	36	1.4	2.1	2.4		0.4	0.4	0.4		75	75	75	
ONG11	22	1520	3	6	3	3	1	8788	36	0.7	0.7	0.9		0.2	0.1	0.2		94	94	86	
13A	31	1370	4	3	2	2	3	8687	24	2.8	3.1	3.8	7.0	0.7	0.6	0.6	0.9	88	88	83	83
25B	31	1360	5	3	2	3	3	8788	24		3.1	4.8			0.6	0.8			96	96	
56A	31	1370	1	5	3	3	3	8485	20		6.3	7.0	9.9		1.3	1.2	1.2		90	90	90
SC12	31	1330	4	4	2	3	3	8788	36	2.0	3.2	4.3		0.5	0.6	0.7		94	94	94	
19A	32	1390	6	6	2	3	3	8485	24	1.8	2.2	2.6	3.4	0.5	0.4	0.4	0.4	96	96	96	96
17A	33	1370	4	3	2	2	3	8788	36		1.4	2.1			0.3	0.4			94	94	
SB01	33	1330	4	7	2	2	2	8889	36	1.6	2.3	3.0		0.4	0.5	0.5		94	94	94	
256B	34	1350	3	1	2	3	2	8889	36	1.2	1.9	2.3		0.3	0.4	0.4		97	97	87	
Total / Moyennes									473	1.5	2.2	2.9	6.0	0.4	0.4	0.5	0.8	90	90	89	89

Pinus elliottii

SA24	11	1330	2	8	2	3	3	8586	24	1.3	1.8		3.6	0.3	0.4		0.5	100	100	100	100
SA42	11	1330	1	8	2	3	3	8889	36	0.8	1.0	1.2		0.2	0.2	0.2		22	22	22	
SB10	21	1330	3	7	2	3	2	8889	36	0.7	0.9	1.1		0.2	0.2	0.2		89	86	86	
SB06	22	1330	3	7	2	3	2	8586	24	1.1			2.8	0.3			0.4	92	92	92	92
SC04	31	1330	4	4	2	3	3	8889	36	1.0	1.2	1.5		0.3	0.2	0.3		100	100	100	
Total / Moyennes									156	1.0	1.2	1.3	3.2	0.3	0.2	0.2	0.4	78	74	74	96

* Voir codification en annexe 1

Numéro placette	Type sol	Altitude (m)	Pente	Exposition	Topographie	Nature surface du sol	Couverture végétale	Campagne	Nombre de plants	Hauteur moyenne (en m)				Accrois. moyen annuel (en m)				Taux de survie (en %)			
										4 ans	5 ans	6 ans	8 ans	4 ans	5 ans	6 ans	8 ans	4 ans	5 ans	6 ans	8 ans

Eucalyptus camaldulensis

SA30	11	1330	1	8	3	3	3	8889	36	2.4	2.8	3.0	0.6	0.6	0.5	100	100	100
ONG06	21	1520	2	5	4	3	3	8788	24	1.2	1.3	1.5	0.3	0.3	0.3	92	92	92
ONG07	21	1520	3	5	2	3	3	8788	24	1.4	1.6	1.9	0.4	0.3	0.3	100	100	96
ONG08	21	1520	3	5	2	3	3	8788	24	1.5	1.8	1.9	0.4	0.4	0.3	100	100	100
ONG05	22	1520	2	5	2	3	3	8788	24	1.2	1.2	1.4	0.3	0.2	0.2	92	88	79
SC03	31	1330	3	4	2	3	3	8889	36		2.0	2.4		0.4	0.4		94	94
SC09	31	1330	4	4	2	3	3	8889	36	2.1	2.4	2.7	0.5	0.5	0.5	100	100	100
16A	33	1370	3	1	2	2	3	8788	36		1.5	1.8		0.3	0.3		89	89
SC13	42	1330	4	4	2	1	2	8788	36		1.0	1.0		0.2	0.2		58	44
Total / Moyennes									276	1.7	1.8	2.1	0.4	0.4	0.4	98	91	88

Eucalyptus robusta

SA06	11	1330	1	8	2	3	3	8485	24	1.4	1.9	3.3	0.4	0.4	0.4	100	83	79			
SA39	11	1330	1	8	2	3	3	8788	36	1.5	1.7	2.3	0.4	0.3	0.4	56	50	39			
116B	12	1350	3	6	2	3	3	8889	34	1.1	1.3	1.5	0.3	0.3	0.3	82	74	74			
20A	21	1380	1	6	1	3	2	8485	30	1.9	2.3	2.6	0.5	0.5	0.3	97	93	87			
SB12	21	1330	3	7	2	3	2	8889	36	1.7	1.9		0.4	0.4		94	94				
110B	22	1360	3	2	2	2	3	8889	36	1.0	1.2	1.3	0.3	0.2	0.2	94	89	81			
18A	22	1370	3	7	2	2	2	8788	36		1.1	1.4		0.2	0.2		89	86			
ONG10	22	1520	3	6	2	2	3	8788	30	1.2	1.4	1.6	0.3	0.3	0.3	97	90	87			
SB04	22	1330	3	7	2	2	3	8889	36	1.4	1.6	1.8	0.4	0.3	0.3	97	94	86			
21A	31	1370	4	5	2	3	3	8485	24	2.6	3.4	4.3	0.7	0.7	0.5	92	92	88			
22A	31	1350	4	5	2	3	3	8586	32	2.7		2.8	0.7		0.4	97		88			
14A	33	1370	4	4	2	1	3	8687	36		1.0	1.2	0.0	0.2	0.2		86	69			
257B	34	1350	3	1	2	2	1	8889	36	0.7	0.7	0.8	0.2	0.1	0.1	78	78	72			
Total / Moyennes									426	1.5	1.6	1.5	3.2	0.4	0.3	0.3	0.4	89	85	74	86

Eucalyptus grandis

SA28	11	1330	1	8	2	3	3	8889	36	2.0	2.6	3.0	0.5	0.5	0.5	94	92	89			
SA01	12	1330	2	8	2	3	3	8485	15	2.4		4.1	0.6		0.5	100		80			
ONG09	22	1520	2	4	2	3	1	8788	36	0.6	0.5	0.4	0.2	0.1	0.1	97	44	28			
SB07	22	1330	3	7	2	3	2	8889	36	1.6	1.8	1.8	0.4	0.4	0.3	94	94	92			
SC01	31	1330	4	4	2	3	3	8788	36	0.9	1.0	1.2	0.2	0.2	0.2	72	69	61			
SC07	31	1330	4	4	2	3	3	8788	36	1.7	2.2	2.4	0.4	0.4	0.4	92	89	89			
Total / Moyennes									159	1.5	1.8	2.0	4.1	0.4	0.4	0.3	0.5	91	78	72	80

Numéro placette	Type sol	Altitude (m)	Pente	Exposition	Topographie	Nature surface du sol	Couverture végétale	Campagne	Nombre de plants	Hauteur moyenne (en m)				Accrois. moyen annuel (en m)				Taux de survie (en %)			
										4 ans	5 ans	6 ans	8 ans	4 ans	5 ans	6 ans	8 ans	4 ans	5 ans	6 ans	8 ans

Coffinitis sp.

SA08	11	1330	2	8	2	3	3	8889	36	1.2	1.5	1.8	0.3	0.3	0.3	94	94	94
ONG01	21	1520	3	7	2	3	3	8788	27	0.7	0.8	1.0	0.2	0.2	0.2	96	93	93
ONG02	22	1520	3	7	2	2	3	8788	24	0.7	0.8	0.9	0.2	0.2	0.2	96	92	88
ONG04	22	1520	3	5	2	3	1	8788	24	0.5	0.5	0.6	0.1	0.1	0.1	96	96	96
SB05	22	1330	3	7	2	2	3	8889	36	0.9	1.3	1.4	0.2	0.3	0.2	97	97	97
15A	33	1370	4	4	2	2	3	8586	32		1.3	1.3		0.3	0.2	72	72	72
ONG08	33	1520	3	7	2	2	3	8788	24	0.6	0.8	0.9	0.2	0.2	0.2	96	96	96
255B	34	1350	3	1	2	3	2	8589	30	0.6	0.9	1.1	0.2	0.2	0.2	93	87	73
SC11	34	1330	4	4	2	3	3	8889	36	0.5	0.6	0.7	0.1	0.1	0.1	75	75	74
Total / Moyennes									269	0.7	1.0	1.1	0.2	0.2	0.2	92	89	87

Acacia dealbata

SA22	11	1330	1	8	1	3	3	8889	36	1.3	1.5	1.6	0.3	0.3	0.3	42	36	36
SB09	21	1330	3	7	2	3	2	8889	36	1.7	2.0	2.2	0.4	0.4	0.4	78	75	75
SB06	31	1330	4	4	2	3	3	8889	36	1.8	1.8	1.9	0.5	0.4	0.3	89	89	89
254B	34	1350	4	8	2	3	2	8889	36	0.6	0.6	0.7	0.2	0.1	0.1	86	67	56
259B	34	1350	4	1	2	3	2	8889	36	0.7	0.6	0.5	0.2	0.1	0.1	89	86	78
Total / Moyennes									180	1.2	1.3	1.4	0.3	0.3	0.2	77	71	67

Casuarina cunninghamiana

SA10	11	1330	2	8	2	3	3	8485	24		1.6	1.6		0.3	0.2	100		100	
SA20	11	1330	2	8	2	3	3	8586	24	1.0		0.9	0.3		0.2	100		71	
SA23	11	1330	1	8	1	3	3	8889	36	0.3			0.1			25			
SB14	21	1330	3	7	2	3	2	8889	36	0.6			0.2			81			
SC05	31	1330	4	4	2	3	3	8989	36	1.0			0.3			92			
SB03	33	1330	5	7	2	2	2	8586	24	0.5			0.1			83			
Total / Moyennes									180	0.8	1.6	0.9	0.2	0.3	0.2	64	100	71	100

Eucalyptus tereticornis

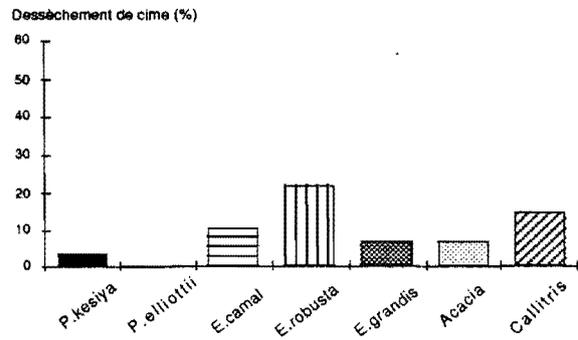
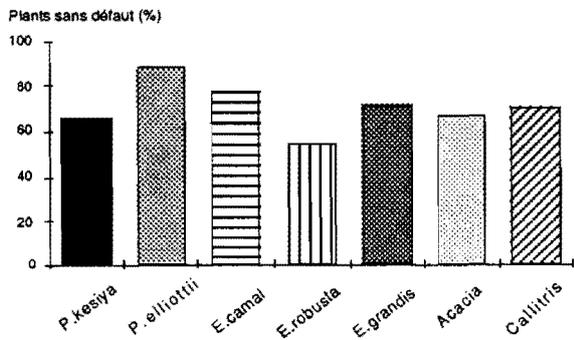
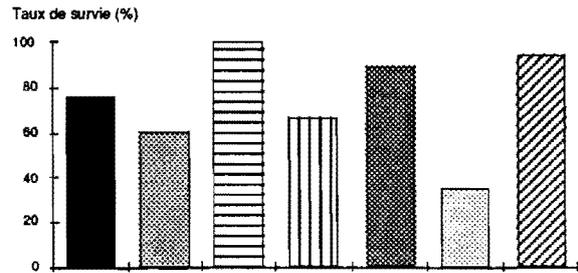
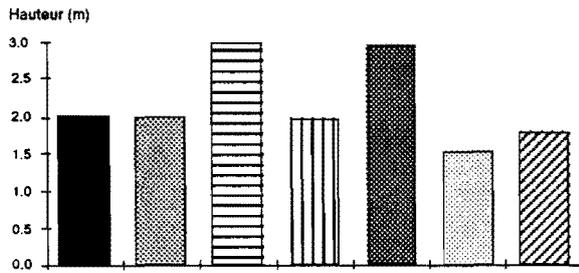
SA38	11	1330	1	8	2	3	3	8788	36	2.1	2.4		0.4	0.4		97	97	
------	----	------	---	---	---	---	---	------	----	-----	-----	--	-----	-----	--	----	----	--

Eucalyptus cameronii

SA31	11	1330	1	8	2	3	3	8687	36		2.7			0.5			67	
------	----	------	---	---	---	---	---	------	----	--	-----	--	--	-----	--	--	----	--

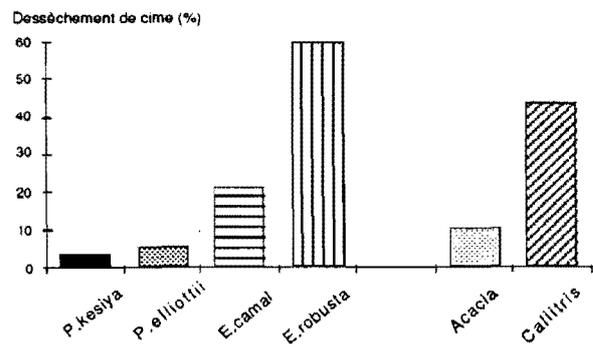
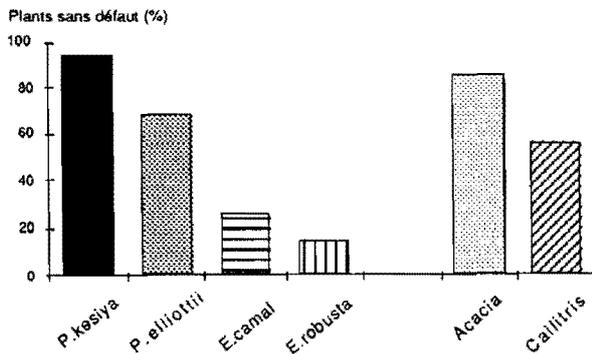
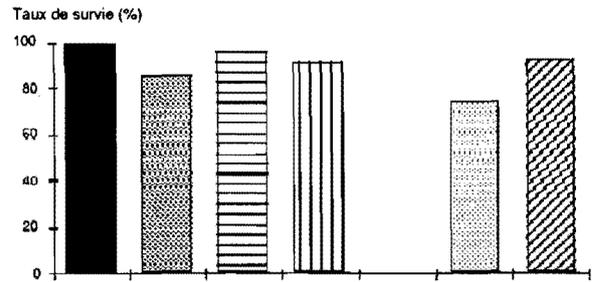
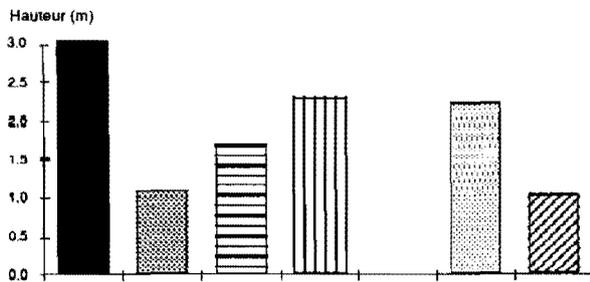
Sol ferrallitique typique à structure fortement à plus ou moins dégradée (type 11/12)

Age: 55 mois (Hauteur, Taux de survie)
67 mois (Qualité)



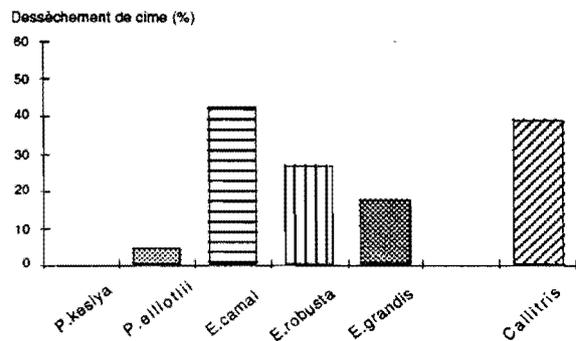
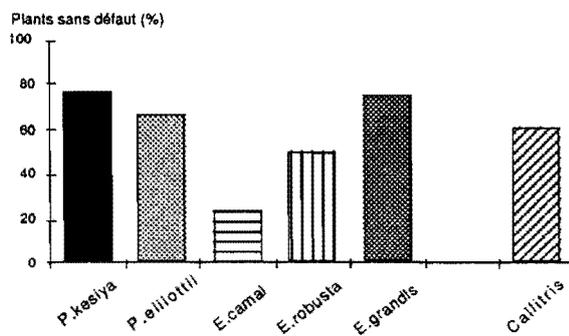
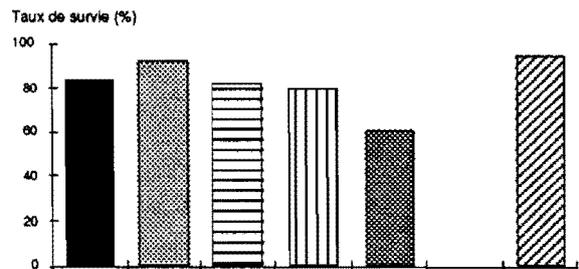
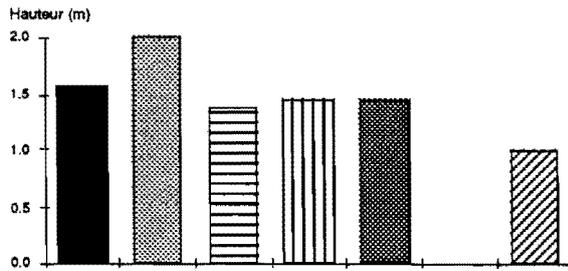
Sol ferrallitique typique à structure polyédrique (type 21)

Age: 55 mois (Hauteur, Taux de survie)
67 mois (Qualité)



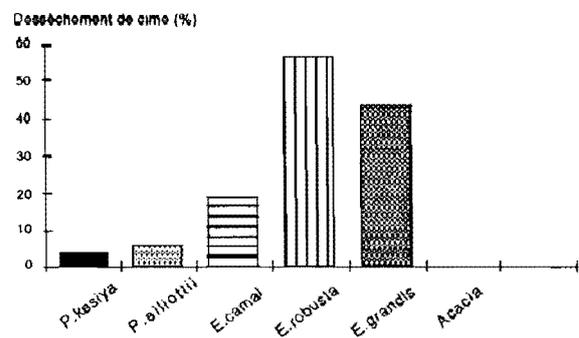
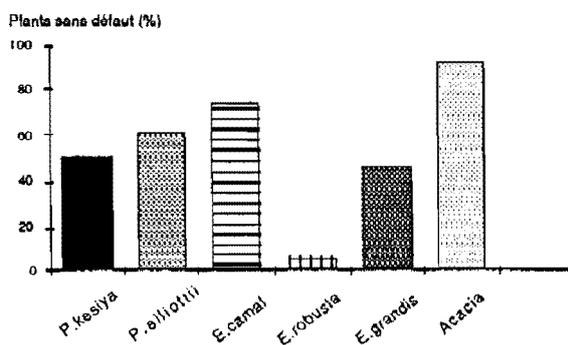
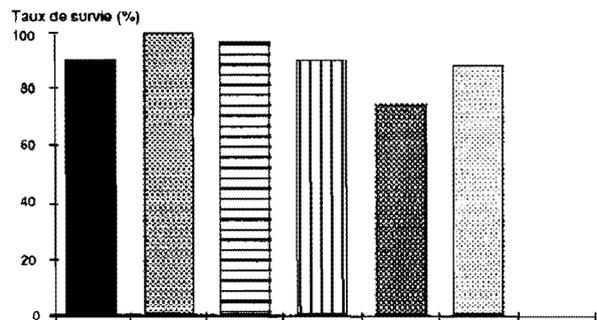
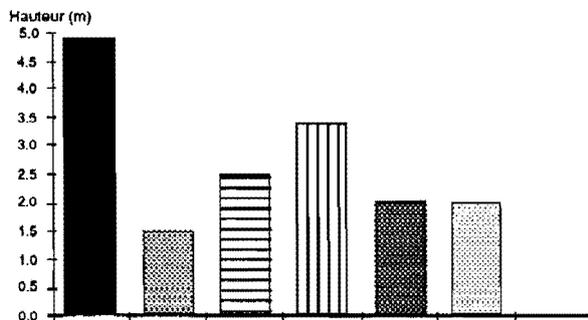
Sol ferrallitique typique à structure polyédrique, tronqué et/ou avec épandage de quartz (type 22)

Age: 55 mois (Hauteur, Taux de survie)
67 mois (Qualité)



Sol ferrallitique rajeuni (type 31)

Age: 55 mois (Hauteur, Taux de survie)
67 mois (Qualité)



Annexe 4 (suite)

Sol ferrallitique rajeuni, tronqué et/ou avec épandage de quartz (type 33/34)

Age: 55 mois (Hauteur, Taux de survie)
67 mois (Qualité)

