

AG-179425
BA-TH347

UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DES EAUX ET FORÊTS

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

21 SEP. 1999

INTRODUCTION DES ACACIAS AUSTRALIENS DANS LA
REGION ORIENTALE DE MADAGASCAR :
EVALUATION DES ESSAIS POUR *ACACIA CRASSICARPA*

Membres de Jury:

Président : *Madame Gabrielle RAJOELISON*

Tuteur : *Madame Lolona RAMAMONJISOA*

Membre : *Monsieur Gilles CHAIX*

Membre : *Monsieur Honoré RANDRIANJAFY*

Par RAMAROSON Andrianjatovo Patrick
Promotion ANDRY (1993-1998)

CIRAD-Dist
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE
Baillarguet

Avril 1999



"Fa izaho mahalala ny hevitra iheverako anareo hoy Jehovah,.."

Jer 29 : 11

- *Ho an'i Dada sy Mama izay nitaiza sy nanabe,*
- *ianareo zandry tsy mahafoy,*
- *ny fianakaviana manontolo,*
- *ny namana rehetra tsara sitra-po,*

"Ny hazo no vanon-ko lakana hono, ny tany naniriany no tsara!"

Tovo.

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements et ma profonde gratitude à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire. J'adresse plus particulièrement mes sincères reconnaissances à :

*- Madame **Lalanirina Gabrielle RAJOELISON**, Docteur Ingénieur en sciences forestières, chef du Département des Eaux et Forêt de l'ESSA, qui a tant veillé au bon déroulement de notre formation et nous fait aujourd'hui le grand honneur de présider le jury de ce mémoire.*

*- Monsieur **Honoré RANDRIANJAFY**, Docteur ès-science techniques, Chef du Département des Recherches Forestières et Piscicoles du FOFIFA qui, malgré ses lourdes occupations, n'a jamais refusé d'être dérangé et a fait tout son possible durant la réalisation de ce travail. Je le remercie d'avoir accepté de siéger parmi les membres de jury de ce mémoire.*

*- Madame **Anjarasoa Lolona RAMAMONJISOA**, Docteur Ingénieur, chef du Département de Production du Silo National des Graines Forestières et enseignante en génétique forestière à l'ESSA/forêt, notre tuteur, dont la clarté de son enseignement et l'intérêt qu'elle a bien voulu porter à notre formation ont fait que notre intérêt s'est porté sur cette fameuse discipline. Malgré ses lourdes responsabilités, elle n'a pas épargné ses efforts en nous guidant dans la bonne voie tout au long de la réalisation de ce travail.*

*- Monsieur **Gilles CHAIX**, Chercheur généticien du CIRAD/forêt, Chef du projet création de vergers à graines et cotuteur de ce mémoire, d'avoir bien voulu me proposer ce travail, qui m'a beaucoup aidé, conseillé et encouragé tout au long de sa réalisation. Ce travail n'aurait pas pu être réalisé sans l'appui financier et matériel de son institution.*

*- Monsieur **Appolinaire RAZAFIMAHATRATRA**, Collaborateur technique au sein du projet création de vergers à graines, qui n'a pas ménagé son temps et ses efforts en nous faisant partager ses expériences notamment sur le traitement statistique des données.*

- Toutes les personnes qui travaillent au sein du projet création vergers à graines qui m'ont prodigué aides et conseils pour le bon déroulement de mon stage,

- Tous les responsables et personnels du laboratoire de technologie du bois du DRFP/FOFIFA Ambatobe dont la collaboration étroite fut la condition nécessaire à l'aboutissement de ce travail.

Comme il me serait difficile de citer ici toutes les personnes qui ont collaboré de près ou de loin à l'élaboration de ce travail, je voudrais qu'elles trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

Merci à tous!

R.A.P.

RESUME

L'*Acacia crassicarpa* est une espèce feuillue nouvellement introduite à Madagascar. C'est une espèce qui n'est pas encore très connue dans le domaine du reboisement dans le pays. Pourtant, dès sa première introduction, elle se montre déjà prometteuse à travers les particularités suivantes :

- croissance rapide, atteignant un accroissement moyen en hauteur de 2.5 m/an à 5 ans,
- rustique, présentant peu d'exigences nutritionnelles,
- plastique, adaptée aux divers types de conditions écologiques (sol, humidité, température,...).

Malgré sa forme généralement irrégulière (multicaules avec des troncs assez sinucux), ces caractéristiques lui permettent d'être considérée comme une espèce à usages multiples tels que bois d'énergie, bois de construction, arbre de protection, restauration de la fertilité du sol, ombrage et production du miel. Compte tenu de ses caractéristiques de forme, l'objectif principal de production de bois d'énergie semble être plus judicieux. De plus, cette espèce présente des qualités comparables à celles qui sont habituellement utilisées dans ce sens à Madagascar notamment les Eucalyptus et les Pinus. La productivité de cette espèce est plus importante et de qualité similaire du point de vue énergétique. Elle mérite donc d'être considérée dans des travaux d'amélioration.

Des essais ont été installés dans les différentes zones écologiques de Madagascar, mais les trois essais faisant l'objet de notre étude se situent sur la côte Est de la grande Ile notamment Mahela et Ivoloïna, la zone principale d'utilisation de cette espèce.

Les vingt trois provenances testées proviennent de deux régions d'origines dont dix sept sont originaires de Papouasie Nouvelle Guinée (PNG) et six d'Australie Queensland (Qld).

L'évaluation de la performance génétique de ces provenances introduites montre la supériorité des provenances issues de la Papouasie Nouvelle Guinée par rapport à celles d'Australie (Queensland) pour tous les essais notamment sur la production. Des variabilités importantes sont observées surtout au niveau des caractères de croissance, c'est ainsi que ces caractères devraient être retenus comme critères de sélection. Les sélections intraparcellaires effectuées en se basant sur ces caractères ont permis d'obtenir des gains phénotypiques et génotypiques non négligeables permettant une certaine amélioration de l'espèce d'autant que l'héritabilité, des caractères de croissance, est élevée. Les caractères de forme sont plutôt liés aux facteurs écologiques ou environnementaux qu'aux génotypes ou provenances. En effet, ils ne présentent pas un degré d'héritabilité très élevée.

Les perspectives du programme d'amélioration à court terme d'*Acacia crassicarpa* à Madagascar seraient selon le schéma d'amélioration conçu : poursuite des sélections dans les vergers existants, sélection d'arbres élites et récolte de graines pour la mise en place de vergers à graines de familles (ou de descendances), et éventuellement dans les nouvelles zones, réintroduction des provenances dans le cadre de la mise en place de nouveaux vergers à graines.

Des études plus spécifiques sur la conduite sylvicole de l'espèce devraient constituer aussi une activité prioritaire dans le cadre de la promotion de cette espèce.

GLOSSAIRE

Quelques brèves définitions sont rappelées pour faciliter la lecture de ce texte aux personnes qui ne sont pas accoutumées au vocabulaire utilisé.

- Différentiel de sélection* : c'est l'écart entre la moyenne générale de la population et la moyenne des individus sélectionnés en valeur relative (%).
- Famille* : descendance d'un parent soumis à la fécondation libre.
- Gain génotypique* : c'est le gain moyen que l'on pourrait obtenir en utilisant les meilleurs génotypes sélectionnés dans une expérience.
- Gain phénotypique* : différentiel de sélection exprimé en valeur métrique.
- Génétique* : science qui traite des ressemblances et des différences entre les êtres vivants, leurs ascendants et leurs descendants.
- Génotype* : ensemble des caractères génétiques transmis d'une génération à la suivante et assurant la capacité de réaliser tel ou tel phénotype chez un individu.
- Panmixie* : traduit l'état d'une population où les croisements se font totalement au hasard. Les individus qui composent la population sont sensés avoir la même chance de survie et de fertilité.
- Phénotype* : manifestation externe ou apparente des caractères héréditaires contrôlés par les gènes dans un milieu donné.
- Provenance* : au sens large, il faut entendre "matériel de reproduction" issus des peuplements naturels (origine ou écotype) ou des peuplements artificiels (provenances au sens strict).
- Verger à graines* : plantation des provenances sélectionnées, suffisamment isolée du pollen extérieur, en vue de produire des récoltes abondantes de graines.

-SOMMAIRE-

Remerciements	
Résumé	
Glossaire	
Sommaire	i
Liste des illustrations.....	iv
Signification des sigles et abréviations	viii
INTRODUCTION.....	1
Première partie : MONOGRAPHIE DE L'ESPECE.....	2
I.1 LES ACACIA AUSTRALIENS.....	2
I.1.1 Caractères principaux.....	2
I.1.2 Aire d'origine.....	2
I.1.3 Ecologie.....	2
I.1.4 Utilisations	3
I.2 L'ACACIA CRASSICARPA	3
I.2.1 Choix de l'espèce.....	3
I.2.2 Taxonomie et classification.....	3
I.2.3 Caractéristiques botaniques.....	4
I.2.4 Phénologie.....	5
I.2.5 Distribution naturelle.....	5
I.2.6 Ecologie.....	6
I.2.7 Autres caractéristiques	7
I.2.8 Quelques propriétés technologiques du bois.....	7
I.2.9 Les possibilités d'utilisation de l'espèce	8
Deuxième partie: MATERIELS ET METHODES.....	9
II.1 LA STRATEGIE D'AMELIORATION ADOPTEE.....	9
II.1.1 Introduction des provenances	9
II.1.2 Evaluation des provenances.....	9
II.1.3 Vergers à graine de provenances (ou vergers à graines de semis).....	10
II.1.3.1 Dispositifs expérimentaux.....	11
II.1.3.2 La sélection	11
II.1.3.3 Réalisations à Madagascar	12
II.2 LES DIFFERENTES STATIONS D'ETUDE.....	12
II.3 CARACTERISTIQUES DES ESSAIS D'ACACIA CRASSICARPA ETUDIES	15
II.4 LES DIFFERENTES PROVENANCES ETUDIEES.....	15
II.5 LES CARACTERES ETUDIES	16

II.5.1 Les caractères mesurés.....	17
II.5.1.1 Les caractères quantitatifs	17
II.5.1.2 Les caractères qualitatifs	17
II.5.2 Les caractères dérivés	18
II.5.2.1 La surface terrière.....	18
II.5.2.2 Le poids en bois.....	18
II.5.2.3 Les accroissements moyens annuels	18
II.5.2.4 Estimation du volume.....	18
II.6 METHODES D'INVENTAIRE.....	19
II.6.1 Inventaire classique.....	19
II.6.2 Inventaire spécifique à l'estimation de la production.....	19
II.7 MISE EN FORME DES DONNEES A ANALYSER.....	20
II.8 MOYENS D'ANALYSES.....	20
II.8.1 Estimation des paramètres génétiques	21
II.8.1.1 Variabilité phénotypique	21
II.8.1.2 L'héritabilité génotypique	21
II.8.1.3 Calcul des gains.....	22
II.8.2 Analyse de la variance	23
II.8.3 Le Test de Khi-2 (χ^2)	23
II.8.4 Etude de la corrélation des caractères.....	24
Troisième partie : RESULTATS ET INTERPRETATIONS	25
III.1 RESULTATS DE L'ETUDE DE DEPENDANCE DES CARACTERES POIDS ET SURFACE TERRIERE POUR L'ACACIA CRASSICARPA	25
III.2 RESULTATS D'ANALYSE.....	27
III.2.1 Essai n°109 Mahela	27
III.2.1.1 Caractéristiques de croissance	27
III.2.1.2 Caractéristiques de forme.....	31
III.2.1.3 Corrélation entre les caractères	32
III.2.1.4 Caractéristiques de floraison et de fructification	33
III.2.1.5 Etude du gain	33
III.2.1.6 Productivité de l'essai.....	34
III.2.2 Essai n°132 Mahela	36
III.2.2.1 Caractéristiques de croissance	36
III.2.2.2 Caractéristiques de forme.....	40
III.2.2.3 Corrélation entre les caractères	41
III.2.2.4 Caractéristique de floraison et de fructification.....	42
III.2.2.5 Etude du Gain	43
III.2.2.6 Productivité de l'essai.....	44
III.2.3 Essai n°161 à Ivoloina	45
III.2.3.1 Caractéristiques de croissance	45
III.2.3.2 Caractéristiques de forme.....	47
III.2.3.3 Corrélation entre les caractères	48
III.2.3.4 Productivité de l'essais	48

III.3 SYNTHÈSE DES RESULTATS	50
III.3.1 Comparaison des essais	50
III.3.2 Comparaison des provenances.....	50
III.3.3 Variabilité des caractères.....	50
III.3.4 Héritabilité des caractères.....	51
III.3.5 Gains.....	51
III.3.5.1 Gains génotypiques conventionnels.....	51
III.3.5.2 Gains phénotypiques apportés par les éclaircies	51
III.3.6 Relation entre les différents caractères.....	51
Quatrième partie : DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	53
IV.1 CONSEQUENCES SUR LES TRAVAUX D'AMELIORATION GENETIQUE.....	53
IV.2 POTENTIALITE DE L'ESPECE ET PERSPECTIVE DE VULGARISATION A MADAGASCAR	53
CONCLUSION GENERALE	56
BIBLIOGRAPHIE.....	58
ANNEXES.....	60

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Tableaux:

- Tableau n°1 : Les exigences climatiques de l'espèce
 Tableau n°2 : Densité du bois de l'*Acacia crassicaarpa*
 Tableau n°3 : Résultats sur le séchage du bois d'*Acacia crassicaarpa* à l'air libre
 Tableau n°4 : Caractéristiques des différents essais d'*Acacia crassicaarpa* réalisés.
 Tableau n°5 : Caractéristiques des stations d'études
 Tableau n°6 : Données climatiques pour la région de Tamatave
 Tableau n°7 : Données climatiques pour la région de Brickaville
 Tableau n°8 : Caractéristiques des essais étudiés
 Tableau n°9 : Caractéristiques des provenances introduites
 Tableau n°10 : Les différents caractères mesurés
 Tableau n°11 : Transformation des variables
 Tableau n°12 : Analyse de variance pour le cas d'un dispositif du type blocs complets équilibrés
 Tableau n°13 : Les paramètres estimés pour l'essai n°109
 Tableau n°14 : Les paramètres estimés pour l'essai n°161
 Tableau n°15 : Résultats d'analyse de l'essai n°109 - Hauteur totale
 Tableau n°16 : Résultats d'analyse de l'essai n°109 - Surface terrière
 Tableau n°17 : Résultats d'analyse de l'essai n°109 - Poids (t/ha)
 Tableau n°18 : Résultats d'analyse de l'essai n°109 - Volume (m³/ha)
 Tableau n°19 : Résultats d'analyse de l'essai n°109 - Caractéristiques du forme
 Tableau n°20 : Matrice de corrélation sur les hauteurs
 Tableau n°21 : Matrice de corrélation sur les surfaces terrières
 Tableau n°22 : Matrice de corrélation entre les différents caractères
 Tableau n°23 : Résultats d'analyse de l'essai n°109 - Floraison et fructification
 Tableau n°24 : Analyse du gain génotypique pour la hauteur, la surface terrière et le poids pour l'essai n°109
 Tableau n°25 : Productivité du peuplement de l'essai n°109
 Tableau n°26 : Résultats d'analyse de l'essai n°132 - Hauteur totale
 Tableau n°27 : Résultats d'analyse de l'essai n°132 - Surface terrière
 Tableau n°28 : Résultats d'analyse de l'essai n°132 - Poids et volume
 Tableau n°29 : Résultats d'analyse pour l'essai n°132 - Caractéristiques de forme
 Tableau n°30 : Matrice de corrélation sur les hauteurs
 Tableau n°31 : Matrice de corrélation sur les surfaces terrières
 Tableau n°32 : Matrice de corrélation entre les différents caractères
 Tableau n°33 : Résultats d'analyse de l'essai n°132 - Floraison et fructification
 Tableau n°34 : Analyse du gain génotypique pour la hauteur, la surface terrière et le poids pour l'essai n°132
 Tableau n°35 : Productivité du peuplement de l'essai n°132
 Tableau n°36 : Résultats d'analyse de l'essai n°161 - Hauteur totale
 Tableau n°37 : Résultats d'analyse de l'essai n°161 - Surface terrière
 Tableau n°38 : Résultats d'analyse de l'essai n°161 - Poids
 Tableau n°39 : Résultats d'analyse de l'essai n°161 - Volume
 Tableau n°40 : Résultats d'analyse de l'essai n°161 - Caractères de forme
 Tableau n°41 : Matrice de corrélation entre les différents caractères
 Tableau n°42 : Productivité du peuplement de l'essai n°161

Figures:

Figure n°1: Rameau florifère, fruit et graine d'*Acacia crassicaarpa*

Figure n°2: Aire de distribution naturelle d'*Acacia crassicaarpa*

Figure n°3: Schéma d'amélioration des espèces feuillues exotiques à l'aide de vergers à graines

Figure n°4: Sélection récurrente par populations multiples

Figure n°5: Exemple d'un bloc d'amélioration

Figure n°6: Localisation des stations d'étude

Figure n°7: Localisation géographique des différentes provenances introduites

Graphiques:

Graphique 1: Courbe ombrothermique de la région de Tamatave

Graphique 2: Courbe ombrothermique de la région de Brickaville

Graphique 3: Droite de régression du poids en fonction de la surface terrière pour le cas des essais à Mahela

Graphique 4: Droite de régression du poids en fonction de la surface terrière pour le cas de l'essai d'Ivoloina

Graphique 5: Courbe de croissance en hauteurs des provenances dans l'essai n°109

Graphique 6: Courbe de croissance en surface terrière des provenances dans l'essai n°109

Graphique 7: Courbe de croissance en hauteur des provenances dans l'essai n°132

Graphique 8: Courbe de croissance en surface terrière des provenances dans l'essai n°132

Clichés:

Cliché n°1:- Parcelle d'*Acacia crassicaarpa* à 61 mois Mahela

Cliché n°2:- Plantation de deux ans à Ivoloina

Annexes:

Annexe 1 : Les plans et caractéristiques des essais

Annexe 2 : Modèle d'une fiche de relevé utilisée pour les inventaires annuels

Annexe 3 : Données climatiques des stations d'études

Annexe 4 : Type de programme d'analyse sur le logiciel SAS

Annexe 5 : Type de résultats d'analyse sur le logiciel SAS

Annexe 6 : Résultats de l'analyse de variance pour les différents caractères

SIGNIFICATION DES SIGLES ET ABREVIATIONS

SIGLES:

ΔG	: gain génotypique
ΔG_c	: gain génotypique conventionnel
ΔH ou $AMAH$: accroissement moyen annuel en hauteur
ΔP	: gain phénotypique
$C_{1.30}$: circonférence à 1.30 m d'un brin
cm	: centimètre
CMb	: carré moyen des blocs
CM _p	: carré moyen des provenances
CM _r	: carré moyen des résidus
CV	: coefficient de variation intraprovenance
CV _p	: coefficient de variation phénotypique interprovenance
CV _r	: coefficient de variation résiduelle
Fl	: floraison
Fr	: fructification
G130	: surface terrière à 1.30 m d'un arbre
G61	: surface terrière à 61 mois
h ² G	: héritabilité génotypique
H61	: Hauteur totale de l'arbre à 61 mois
ha	: hectare
i	: différentielle de sélection
kg	: kilogramme
m	: mètre
NB	: nombre de brins
NBD	: nombre de brins droits par arbre
NBE	: nombre de brins non droits par arbre
NS	: non significative
P	: pluviométrie
P61	: poids du bois à 61 mois
PBF	: pourcentage de brins fourchus
Pds	: poids
Rg	: rang
rp	: coefficient de corrélation phénotypique
SCEb	: somme des carrés des écarts des blocs
SCEp	: somme des carrés des écarts des provenances
SCEr	: somme des carrés des écarts des résidus
T	: température moyenne
t	: tonne
Tn	: température minimale
Tx	: température maximale
V61	: volume du bois à 61 mois

ABREVIATION:

CENRADERU:	Centre National de la Recherche Appliquée au Développement Rural
CIRAD	: Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
D.E.F	: Direction des Eaux et Forêts
DRFP	: Département des Recherches Forestières et Piscicoles
F.A.O.	: Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture)
FO.F.I.FA	: FOibe Flkarohana ho an'ny FAmpandrosoana
I.E.F.N	: Inventaire Ecologique et Forestier National
O.N.G.	: Organisme Non Gouvernemental
P.A.E	: Plan d'Action Environnementale
P.N.G.	: Papouasie Nouvelle Guinée
Qld.	: Queensland
S.N.G.F.	: Silo National des Graines Forestières

INTRODUCTION

La dégradation de l'environnement à Madagascar est caractérisée par la diminution progressive de la couverture végétale notamment la forêt, connue sous le nom de "déforestation". Madagascar ne possède plus actuellement que 13 millions d'hectares de forêt (I.E.F.N., 1996) soit 23 % de la superficie totale de l'île. Cette dégradation se poursuit à un rythme de 150.000 à 300.000 ha/an (I.E.F.N., 1996). Aggravée par les facteurs écologiques défavorables (pente, précipitation,...) et par les activités humaines irrationnelles. Cette disparition de la couverture forestière engendre la dégradation des sols et les problèmes de régularisation des eaux qui sont des phénomènes assez fréquents à Madagascar. Ces derniers constituent les principales sources de problèmes socio-économiques que rencontre le pays actuellement. L'Etat malgache a donc retenu comme orientation politique la préservation des ressources naturelles restantes à travers diverses activités comme la continuation du Plan d'Action Environnementale (P.A.E.) et la mise en place d'une nouvelle politique forestière.

D'autre part, le fort taux d'accroissement démographique et la pauvreté générale de la population n'ayant comme source d'énergie que les produits ligneux et comme source de revenu que les activités agricoles, expliquent l'importance des besoins en ces produits et en espaces agricoles fertiles. A son rythme actuel de croissance de 3% par an, la population à Madagascar comptera 17 millions d'habitants en 2000 et 28 millions en 2015 ce qui entraîne une augmentation de la demande en bois de 6 à 16 millions de tonne (P.A.E. 1988). Comme la forêt naturelle est de moins en moins accessible du fait de sa disparition et de sa protection, la population doit s'orienter de plus en plus vers les produits des plantations forestières pour satisfaire leurs besoins notamment en bois d'énergie. Ces plantations sont principalement effectuées avec des essences exotiques. Il est bien probable donc que d'importantes superficies doivent faire l'objet de reboisement dans les différentes régions du pays. Compte tenu de la diversité écologique, géographique de ces régions, la production de matériel végétal correspondant à cette diversité est une étape importante. Les reboisements seront d'autant plus rentables s'ils sont effectués avec du matériel végétal performant.

La mise en place d'un programme d'amélioration génétique des espèces utilisées pour le reboisement à Madagascar est donc bien justifiée. Dans le cadre de ce programme, des recherches sur les espèces feuillues sont menées par FOFIFA/D.R.F.P. (Département des Recherches Forestières et Piscicoles) en collaboration avec le Cirad-forêt. Le projet "Vergers à graines" a été créé pour les valoriser. Son objectif consiste à installer 66 ha de vergers à graines dans les différentes zones bioclimatiques de Madagascar afin de produire de matériel végétal, sous forme de graines adaptés au contexte écologique des différentes régions.

Le criblage préalable se basant sur les résultats des recherches effectuées antérieurement et l'étude des ventes de semences forestières par le Silo National des Graines Forestières ont priorisé les genres *Eucalyptus* et *Acacia*. Les *Eucalyptus* ont déjà fait l'objet de divers travaux d'évaluation, notre étude contribue ainsi à l'évaluation de l'introduction des *Acacia* australiens peu connus à Madagascar. Cette étude s'intéresse particulièrement à l'*Acacia crassicarpa* qui est une espèce introduite à Madagascar et semble être la moins connue parmi toutes ces espèces aussi bien ici qu'à l'extérieur de Madagascar. Cette étude consiste plus précisément à l'évaluation des essais d'introduction de cette espèce dans la région orientale de Madagascar dans l'objectif de promouvoir cette espèce dans cette zone.

Avant d'entrer dans l'évaluation génétique proprement dite (comparaison des provenances et travaux de sélection), nous avons consacré la première partie à la présentation et l'étude monographique de l'espèce en donnant les références à propos de celle-ci sur les réalisations à l'extérieur. Après les analyses et interprétations des résultats, nous essayerons d'avancer quelques suggestions et recommandations pour la gestion des vergers et la vulgarisation de cette essence à Madagascar.

Première partie :
MONOGRAPHIE DE L'ESPECE

I. MONOGRAPHIE DE L'ESPECE

I.1 LES ACACIA AUSTRALIENS

I.1.1 CARACTERES PRINCIPAUX

Le genre *Acacia* appartient à la sous famille des mimosaceae et à la famille des leguminosae. Il existe plus de 1.200 espèces décrites dont 660 d'origine australienne. Les mimosaceae se distinguent des autres légumineuses par leurs périanthes réguliers à 4 ou 5 pièces, de taille réduite parfois absent. Les étamines, au nombre de 4 à 10 ou même plus, ont des filets longs et de couleur très vive. Ce genre présente une grande diversité de forme et d'exigence écologique. Sa taille varie d'un petit arbuste de 0.5 m de hauteur (*Acacia depressa*, *Acacia pulviriformis*) jusqu'à des arbres atteignant 35 m de hauteur (*Acacia bakeri* et *Acacia melanoxylon*). Le genre *Acacia* a été décrit pour la première fois en 1754 par Philippe Miller en se basant sur l'*Acacia nilotica* ou "*Egyptian thorn*". Le nom *Acacia* dérive du nom grec "*Akazo*" qui fait référence aux stipules épineuses de nombreux *Acacia* africains et asiatiques. Plus communément, on connaît les *Acacias* sous le nom de "**Wattles**" en Australie depuis l'arrivée des colons sur les côtes en raison de leurs multiples brindilles et branchioles. On distingue trois sous genres d'*Acacia* d'après la classification établie par Bentman en 1875 qui a été révisée par Vassal par la suite :

- le sous genre Aureiculiforme Vassal, absent d'Australie,
- le sous genre Heterophyllum Vassal ou Phyllodinae, limité à l'aire australienne,
- et enfin le sous genre *Acacia*.

La plupart des espèces possède des phyllodes et non des vraies feuilles. L'épaississement du pétiole et la régression du limbe ont abouti à la phyllode qui est considérée le plus souvent comme une forme d'adaptation aux climats arides. Mais toutes les espèces présentent des vraies feuilles durant le stade juvénile. Les graines pour la plupart des espèces d'*Acacia* sont presque imperméables pouvant rester viables durant au moins 20 ans à condition de les conserver au froid. Le prétraitement avant le semis est donc nécessaire pour lever la dormance.

I.1.2 AIRE D'ORIGINE

Ce genre occupe tout l'espace intertropical et on peut le rencontrer même dans l'hémisphère nord. Ce qui confirme la grande diversité du point de vue exigence écologique. Les *Acacia* accompagnent souvent les *Eucalyptus* en formant une strate d'arbre de taille inférieure ou arbustive.

I.1.3 ECOLOGIE

Les essais d'introduction à travers le monde permettent de dire que les *Acacia* australiens peuvent aussi bien exploiter les zones humides et forestières que les zones arides. En forêt ce sont souvent des espèces pionnières. De nombreux *Acacias* australiens sont capables de survivre au passage du feu qui entraîne la germination des graines du sol facilitant la régénération naturelle. Ils ne semblent pas trop exigeants du point de vue fertilité en supportant les sols pauvres en élément minéraux et en matière organique. Un sol bien drainé

et une forte insolation leur sont favorables. Dans l'ensemble, comme toutes les espèces introduites, les *Acacia* présentent une bonne capacité de croissance libérée de leurs pestes naturelles et de leurs prédateurs dans les zones d'introduction. Dans les zones à pluviométrie moyenne soit 750 à 1.250 mm par an, elles deviennent parfois adventices par rapport à la végétation autochtone.

1.1.4 UTILISATIONS

En tant que légumineuses, les *Acacia* font partie des espèces les plus connues pour leur capacité à fixer l'azote atmosphérique. Elles peuvent être utilisées pour améliorer la structure et la fertilité du sol et pour la prévention de l'érosion. Les *Acacia* s'intègrent très bien dans les systèmes agroforestiers. Leur faculté d'adaptation sur des sols salés permet leur utilisation pour la stabilisation des dunes.

Vu leur croissance rapide, les propriétés énergétiques du bois, les *Acacia* constituent un potentiel d'utilisation surtout dans les zones où le sol est pauvre. Malgré le fréquent problème de forme observé surtout en Afrique et à Madagascar, ils peuvent être utilisés comme des bois de service (pieux, perches,...) surtout pour les petites constructions paysannes.

L'écorce de la plupart des espèces d'*Acacia* peut contenir des tannins. Elle peut atteindre jusqu'à 45 pour certaines espèces dont l'écorce est récoltée pour le tannage des cuirs. Les produits d'extraction de certaines espèces peuvent donc présenter une importance économique non négligeable. L'exploitation pour le tannage, l'extraction des concrets à partir des fleurs d'*Acacia dealbata* représentent à Madagascar une bonne perspective.

Les *Acacia* sont aussi célèbres par leurs fleurs, ils représentent une opportunité pour la production de miel et convient bien comme essence ornementale.

1.2 L'ACACIA CRASSICARPA

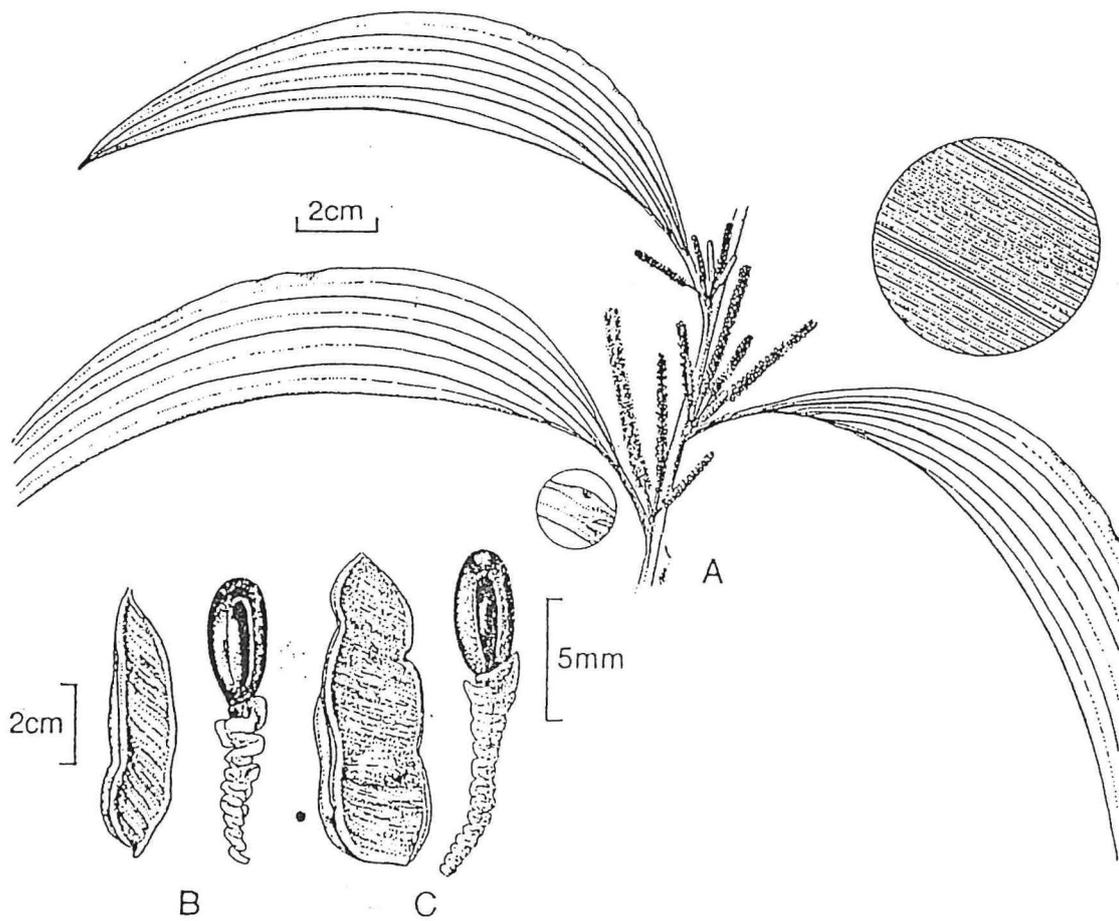
1.2.1 CHOIX DE L'ESPECE

Comme les objectifs de la foresterie villageoise peuvent être difficilement atteints par une seule espèce, compte tenu de la diversité d'une région à une autre, la recherche d'espèces adaptées pour chacune est donc une nécessité. Ce choix consiste aussi à promouvoir les espèces à usages multiples. Pour la région orientale, l'*Acacia crassicarpa* devrait répondre aux objectifs suivants :

- la production de bois d'énergie et bois de service,
- la régénération des sols,
- la couverture arborée pour le contrôle des bassins versants,
- les systèmes agroforestiers.

1.2.2 TAXONOMIE ET CLASSIFICATION

L'*Acacia crassicarpa* A Cunn ex Benth est appelée communément **northern Wattle** ou **Papoua New Guinea red wattle**. Le nom botanique fait référence aux gousses épaisses ligneuses présentant des veines transversales et non ondulées. Il appartient à la classification



A: rameau florifère de l'espèce

B, C: Gousse et graine de différentes échelles

Figure n°1: - Rameau florifère de l'espèce.

Extraite de Lex Thomson, 1994

suivante :

Embranchement des SPERMATOPHYTES,
 Sous embranchement des ANGIOSPERMES,
 Classe des DICOTYLEDONES,
 Sous-classe des ROSIDAE,
 Ordre des ROSALES,
 Famille des LEGUMINEUSES,
 Sous famille des MIMOSACEAE,
 Genre Acacia
 Espèce: crassicarpa A. cunn ex Benth.

1.2.3 CARACTERISTIQUES BOTANIQUES

Le port de l'*Acacia crassicarpa* varie considérablement dans l'aire naturelle d'un site à un autre. En Papouasie Nouvelle Guinée et en Irian Jaya (Indonésie), sur les sites moins favorables bordant les zones mal drainées, ce sont des arbres de petite à moyenne taille de 10 à 15 m de hauteur avec des fûts assez droits et des houppiers bien étalés. Dans les sites les plus favorables associés avec la régénération des forêts humides, ils se développent bien et leur taille peuvent atteindre jusqu'à 25 à 30 m de hauteur avec un diamètre maximal de 55 à 60 cm. Dans le nord de Queensland, ce sont des arbres de petite taille de 6 à 15 m de hauteur avec un maximum de 40 à 45 cm de diamètre. Dans les zones d'introduction ils présentent aussi une importante variation de forme. Des arbres originaires de Papouasie Nouvelle Guinée ont typiquement un port monocaule mais avec un tronc légèrement sinueux présentant des branches secondaires fines à peu grossières. Les individus originaires du nord de Queensland sont fréquemment caractérisés par un manque de dominance apicale, généralement de port multicaule avec occasionnellement des grosses branches semi-horizontales à un niveau proche du sol.

La description botanique de l'espèce a été fournie par Pedley (1978), elle est illustrée par la figure n°1. *Acacia crassicarpa* peut être souvent confondue avec *Acacia aulacocarpa* variété *macrocarpa* et étroitement liée avec d'autres variétés de cette espèce. Ces espèces peuvent s'hybrider dans le nord de Queensland.

Le feuillage est à phyllodes incurvées, de couleur vert-gris. Les phyllodes mesurent en moyenne 11 à 22 cm de longueur sur 1 à 4.5 cm de largeur avec des bords légèrement épaissis pourvus de 3 nervures proéminentes. L'espèce maintient seulement ses vraies feuilles pendant le stade juvénile de la plantule.

L'inflorescence est de couleur jaune et mesurant 4 à 7 cm de long sur 6 à 8 mm de large, elle est assemblée par 2 à 6 épis par axile. La floraison a lieu généralement entre juin à septembre et les fruits arrivent à maturité en Octobre- novembre.

Les gousses sont larges et plates avec une paroi coriace, de couleur marron jaune. Elles sont plus larges que celles d'*Acacia aulacocarpa*, de forme rectangulaire plates variant de 5 à 8 cm de long et 2 à 4 cm de large avec des petites nervures. Les graines sont de couleur noire de forme ovale, plates munies d'un épais funicule blanc (35.000 à 50.000 graines par kg).

Acacia crassicarpa produit un bois de couleur marron pâle, avec un cœur marron jaune assez fibreux. L'écorce est assez irrégulière avec des profondes fissures. D'après les études de Eddows en 1978 (Thomson, 1994), la densité du bois séché à l'air libre d'*Acacia*

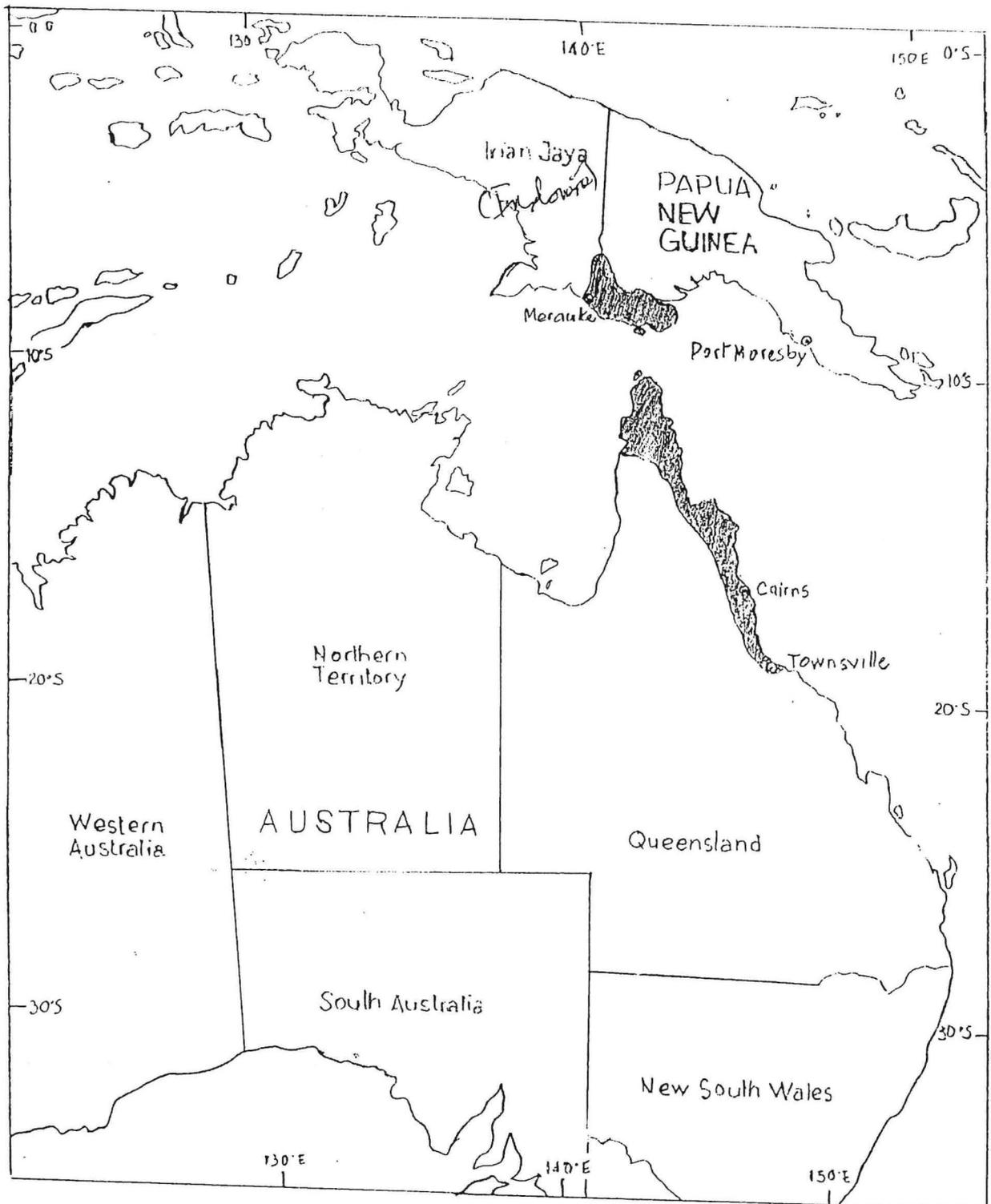


Figure n°2: - Aire de distribution naturelle de l'*Acacia crassicarpa*

Extraite de LexThomson, 1994

crassicarpa est de 710 kg/m³, sa durabilité naturelle varie de 8 à 20 ans, le bois est caractérisé par un faible retrait tangentiel de l'ordre de 2.3 et radial de l'ordre de 1. Les propriétés énergétiques du bois d'*Acacia crassicarpa*, indique qu'il présente une facilité d'ignition (allumage) et des qualités intermédiaires parmi treize espèces australiennes pour les autres caractéristiques telle que 81 % du matériau est consommé pendant le "flaming" phase, 14 % pendant la phase dite "ember phase" et 5 % restants constituent les résidus. Cette étude confirme l'usage de cette espèce comme bois de feu. Gough a déterminé en 1989 (cité par Thomson, 1994) que le bois d'*Acacia crassicarpa* peu fournir 2.18 kJg⁻¹ d'énergie.

1.2.4 PHENOLOGIE

La plante se prête très bien à la propagation par les graines. Le prétraitement recommandé pour les semences consiste au trempage dans l'eau bouillante (100°C) qu'on laisse refroidir. On laisse les graines dans l'eau pendant 24 heures et le semis se fait directement en boulette ou en pot à raison de deux graines par boulette ou par pot. Les graines traitées germent assez rapidement (Cinq à six jours) et les plants sont élevés en pépinière au moins pendant une période de 3 mois sur la côte Est.

Cette espèce est caractérisée par une forte croissance juvénile, c'est à dire que la croissance est très marquée pendant au moins les quatre premières années après plantation sur des sites favorables comme le Sud Est de l'Asie. En Thaïlande par exemple, les plants provenant de Papouasie Nouvelle Guinée atteignent 12.8 - 14.8m de haut et 13.2 - 14.9 cm de diamètre à 3 ans selon Chittachumnonk et Strilak en 1991 (Thomson, 1994). Mais les résultats d'expériences menées dans différents sites montrent que cette vitesse de croissance varie beaucoup en fonction des provenances et des conditions dans les sites d'introduction. Par exemple les provenances Nord Queensland (Shoteel) plantées dans le même site que précédemment n'atteignent que 10.5 m de hauteur et 9.9 cm au même âge correspondant à une diminution de production en volume de 50 % par rapport aux provenances de Papouasie Nouvelle Guinée.

Dans les différents sites, la période de floraison s'effectue principalement entre mai - juin, la floraison peut se poursuivre jusqu'au mois de septembre. La pointe de fructification correspond au mois d'octobre et de novembre, mais varie selon les sites et les années. Les graines peuvent être récoltées à partir de septembre jusqu'en décembre.

1.2.5 DISTRIBUTION NATURELLE

Cette espèce se rencontre en Australie le long de la Côte Est en bordure de la mer sur les dunes et à l'intérieur du Queensland associé à *Alphitonia excelsa*, *Canarium australianum* et *Litsea lefeana*. Elle est présente également à l'intérieur des plaines en association avec *Eucalyptus tetrodonta*, *Grevillea glauca* et *Allocasuarina littoralis*. On la trouve de 20° de latitude sud jusqu'à l'extrémité de la Péninsule du Cap York, tout près de la mer et sur les îles de la Sonde. *Acacia crassicarpa* est également répandu dans les provinces occidentales de la Papouasie Nouvelle Guinée et atteint la frontière d'Irian Jaya, en Indonésie, il est donc limité au nord par la latitude 8° sud. En Papouasie Nouvelle Guinée, *Acacia crassicarpa* se rencontre sur des sols mal drainés bordant les zones périodiquement inondées, en association avec *Acacia aulacocarpa*, *Acacia auriculiformis*, *Acacia mangium*, *Banksia dentata* et *Melaleuca spp.* On le trouve le plus souvent au-dessous de 200 m d'altitude mais on peut trouver des spécimens aux alentours de 700 m.

1.2.6 ECOLOGIE

La plupart des peuplements se trouvent en zone climatique très chaude et humide, mais ils peuvent aussi occuper des superficies restreintes dans les zones à climat humide et chaud. Ces localités sont exemptes de gelées. Les températures moyennes du mois le plus chaud varie de 31° à 42°C et celle du mois le plus froid est de 15° à 22°C. Les précipitations moyennes annuelles varient beaucoup entre 1.000 et 3.500 mm, et appartiennent à un régime de mousson ou à un régime caractérisé par les pluies estivales.

Les exigences climatiques de l'espèce dérivés de l'aire de distribution naturelle dans le sud de Papouasie Nouvelle Guinée (PNG) et le nord du Queensland en Australie (QLD) peuvent se présenter comme suit :

Tableau n°1 : - Exigences climatiques de l'espèce.

Facteurs bioclimatiques	PNG	A(QLD)
- Température moyenne annuelle	26°C	23-26°C
- Moyenne des minima du mois le plus froid	21°C	12-20°C
- Moyenne des maxima du mois le plus chaud	32-33°C	32-34°C
- Précipitation annuelle moyenne	1.545-2.373 mm	957-2.975 mm
- Les mois les plus humides	240-380 mm	255- 632 mm
- Les mois les plus sec	4- 71 mm	1-61 mm
- Amplitude pluviométrique annuelle	201- 315 mm	254- 570 mm

Source : Thomson, 1994.

L'essence tolère une diversité de site et de type de sol telle que dans le nord du Queensland, on la trouve sur des sols sableux mais elle poussera aussi bien sur des argiles que sur des sols imparfaitement drainés. Le fait que l'on rencontre des spécimens au bord de la mer indique qu'elle peut tolérer une certaine concentration de sel dans le sol. En Papouasie l'espèce est très fréquemment rencontrée sur des sols périodiquement inondés, dans cette zone les sols sont très acides (pH = 3 à 5) infertiles et sujet à une humidité extrême. Selon la classification du F.A.O. les sols préférés par cette espèce sont du type fluvisol et podzol. Les plantations d'*Acacia crassicaarpa* ne dépassent pas encore le stade expérimental mais les résultats des essais comparatifs ont mis en évidence son intérêt sur des sites peu favorables.

L'espèce est héliophile mais supporte une certaines ombrage. Elle peut supporter aussi le passage de feu et craint la gelée.

Aucun symptôme phytosanitaire ou d'attaques d'insectes n'a été constaté sur les essais installés à Madagascar pour cette espèce, mais dans d'autres pays et sur quelques peuplements de l'aire naturelle, des observations ont permis d'identifier trois types d'ennemis qui peuvent avoir des influences significatives sur l'espèce :

- Le *Platypus sp.*, qui est un insecte appartenant à l'ordre des coléoptères ou pinhole borer. Leurs attaques influencent la qualité du bois. Des sévères infestations ont été observées sur des essais de plantations de Sabah, et en Malaisie selon Thapa en 1992 (Thomson, 1994).

- *Synoxylon sp.* est un insecte borer qui perfore les brindilles et les branches de moins de 3 cm de diamètre et peut même casser les troncs des jeunes arbres (moins de 2 ans) cas observés en Thaïlande selon Hutacharern en 1987 (Thomson, 1994).

- des champignons inconnus (sans doute du genre *Spilodochium*) causent sur les

feuilles des taches jaunes et des sénescences prématurées des phyllodes. Ce cas a été observé en Indonésie au Sud de Kalimantan (Thomson, 1994).

1.2.7 AUTRES CARACTERISTIQUES

Des observations effectuées sur différentes stations à Madagascar : Analatsara (moyen altitude), Antsanitia (Mahajanga) ont permis à certain chercheur de constater qu'*Acacia crassicarpa* appartenait aux groupes des légumineuses "promiscuous" c'est à dire nodulant avec un très grand nombre de souches bactériennes, alors que ce caractère n'a jamais été signalé jusqu'à présent puisque cette espèce ne figure pas dans le liste des espèces "promiscuous" établi par Roughley en 1986 (cité par Domergues en 1989). Sur ces différentes stations, *Acacia crassicarpa* présente toujours une nodulation spontanée satisfaisante et parmi les autres espèces d'*Acacia* introduites c'est celle qui présente les nodulations les plus importantes.

Compte tenu de ces caractères et de sa bonne croissance, cette espèce paraît particulièrement prometteuse. Elle mérite d'être diffusée et devrait être assujettie à des travaux d'amélioration. Des essais menés dans divers pays d'introduction montrent que le bouturage chez cette espèce peut être effectué avec succès avec des plants de stade intermédiaire (3 ans), car les boutures issues des vieux arbres semblent avoir des difficultés à émettre des racines. Par contre le marcottage peut être une solution pour la propagation végétative des vieux spécimens. Une méthode de conduite du marcottage a été développée en Riam Kiwa, sud de Kalimantan, en Indonésie. Elle doit être effectuée au début de saison de pluie sur des branches vigoureuses (environ 1 cm de diamètre), à 30 cm du tronc (Thomson, 1994).

1.2.8 QUELQUES PROPRIETES TECHNOLOGIQUES DU BOIS

Les études que nous avons effectuées sur la densité du bois avec des échantillons de bois d'individus âgés de 4 ans ont permis d'obtenir les résultats présentés dans le tableau suivant :

Tableau n°2 : Densité du bois de l'*Acacia crassicarpa*.

Caractéristiques	Valeurs observées
Densité saturé(kg/m ³)	1033
Densité sec à l'air (kg/m ³)	640
Densité anhydre* (kg/m ³)	600

Source : auteur

Ces valeurs ne sont pas très différentes de celles obtenues ailleurs. Comme référence, Gough a trouvé en 1989 une densité bois vert de 1044 kgm⁻³, Eddows a trouvé qu'à l'état sec à l'air c'est à dire à 12 % d'humidité, une densité égale à 710 kgm⁻³ (Thomson, 1994).

Une expérience a été menée sur l'espèce pour avoir une idée sur le rendement en carbonisation du bois et le séchage naturel du bois en vue de la production du bois de feu dont les résultats sont donnés dans le tableau n°3.

Tableau n°3 : Résultats sur le séchage du bois d'*Acacia crassicaarpa* à l'air libre.

Nombre d'arbre	Poids initial (kg)	Poids après 34 jours (kg)	%	Poids après 56 jours (kg)	%	Poids après 76 jours (kg)	%
30	1855	1538	17	1357	27	1275	31

Source : CHAIX, communication personnelle)

Dans le contexte de la station de Mahela, une période d'un mois environ est donc nécessaire pour que le bois perde 20 % de son poids. L'étude du rendement à la carbonisation avec des méthodes traditionnelles locales a montré qu'en utilisant du bois à l'état humide (laissé à l'air libre une semaine après l'abattage), le rendement est plus faible (8.9 %) que celui obtenu en utilisant du bois à l'état sec avec une valeur de 13.7 %. Ce rendement est meilleur que celui observé sur l'Eucalyptus.

1.2.9 LES POSSIBILITES D'UTILISATION DE L'ESPECE

En Papouasie Nouvelle Guinée, le bois d'*Acacia crassicaarpa* est utilisé pour le gros œuvre comme la construction de bateaux, l'ébénisterie, la fabrication de meubles, les panneaux de particule et les contres plaqués. Il sert à faire des charpentes et bien qu'il subisse l'attaque du foreur "Lyctus", il a la réputation d'être durable. Son bois est un bon combustible.

Dans le cadre de notre étude, l'espèce a été choisie dans l'objectif de production de bois d'énergie tout en permettant la production de perches et pieux.

En ce qui concerne les autres utilisations, grâce à son caractère "promiscuous" décrit plus haut, l'espèce présente une capacité d'adaptation intéressante même sur des sols peu favorables. Elle peut être employée comme essence de protection et de conservation des sols notamment pour la recolonisation des zones dégradées après défrichements menacés d'érosion. En tant que fixateur d'azote atmosphérique, elle peut améliorer la fertilité des sols en restituant les éléments sous forme assimilable dans le sol s'intégrant ainsi dans le contexte agroforestier (Harmand, 1998). Grâce à sa capacité de croissance (rapide et précoce), sa tolérance au passage de feu, aux sols infertiles, et son aptitude à rejeter de souche cette espèce est susceptible d'être exploitée en taillis avec une rotation assez courte (à partir de 4 ans) et pourrait être plantée sur les terrains littoraux pour la fixation des dunes hors des embruns et comme arbre d'ombrages. L'espèce peut représenter aussi une potentialité intéressante pour la production du miel.

Deuxième partie :
MATERIELS ET METHODES

II. MATERIELS ET METHODES

II.1 LA STRATEGIE D'AMELIORATION ADOPTEE

L'*Acacia crassicaarpa* fait partie des espèces à allogamie prédominante, la stratégie adoptée pour son amélioration suit celle qui a été élaborée à partir de la synthèse des résultats obtenus par le programme depuis plus de 20 ans (Lebot et Ranaivoson, 1994). Elle tient compte des moyens dont dispose actuellement le pays et concerne essentiellement la foresterie villageoise dans les diverses zones bioclimatiques du pays.

Cette stratégie vise à créer des variétés constituées par des génotypes d'une grande plasticité afin d'être exploitées dans des milieux très variés. Les variétés doivent donc être rustiques, c'est à dire utilisables sans intrant, de préférence précoces, et destinées à répondre à des usages multiples tels que le bois d'énergie, le bois de service comme des perches ou poteaux ou même du bois de sciage. La plasticité, les performances en croissance et la vigueur au jeune âge sont donc les caractéristiques les plus importantes. Ces variétés sont produites sous forme de graines pour faciliter leur distribution à grande échelle en milieu villageois.

La réalisation de cet objectif repose sur certaines connaissances telles que les variétés synthétiques produites par panmixie sont certainement les mieux adaptées aux conditions des divers milieux où seront effectués les reboisements villageois et sont supposée possédant une base génétique large. Certaines hypothèses sont émises :

- la variabilité génétique à l'intérieur du verger détermine l'étendue de la base génétique des variétés "synthétiques" supposées produite par panmixie.
- la sélection effectuée en se basant sur les caractères supposés héréditaires (transmissible aux descendants), permet d'apporter des gains génétiques.

II.1.1 INTRODUCTION DES PROVENANCES

Compte tenu de la diversité des caractères considérés pour la sélection, l'étape fondamentale du programme d'amélioration consiste à introduire une variabilité génétique importante pour chaque espèce concernée. Les provenances importées de l'aire d'origine constituent bien sûr les sources les plus intéressantes de cette variabilité génétique. L'introduction d'un grand nombre de provenances et leur évaluation dans les zones bioclimatiques diverses sont indispensables à Madagascar où les contextes écologiques sont très diversifiés. Les collections de germoplasme peuvent être entretenues à moindre coût lorsqu'elles sont mises en place sous forme de vergers à graines de provenances qui constitueront la population de base du programme d'amélioration.

Pour *Acacia crassicaarpa*, on a introduit au total pour la région Est plus d'une vingtaine de provenances réparties dans trois essais installés à Mahela et Ivoloina. Les caractéristiques de ces différentes provenances introduites et celles des différents essais sont présentés dans les tableaux n°8, 9 et 10.

II.1.2 EVALUATION DES PROVENANCES

La stratégie adoptée consiste à effectuer l'évaluation multilocale de la variabilité intraspécifique dont la connaissance est essentielle pour l'amélioration des espèces à Madagascar car les provenances choisies ne seront pas obligatoirement utilisées sur des

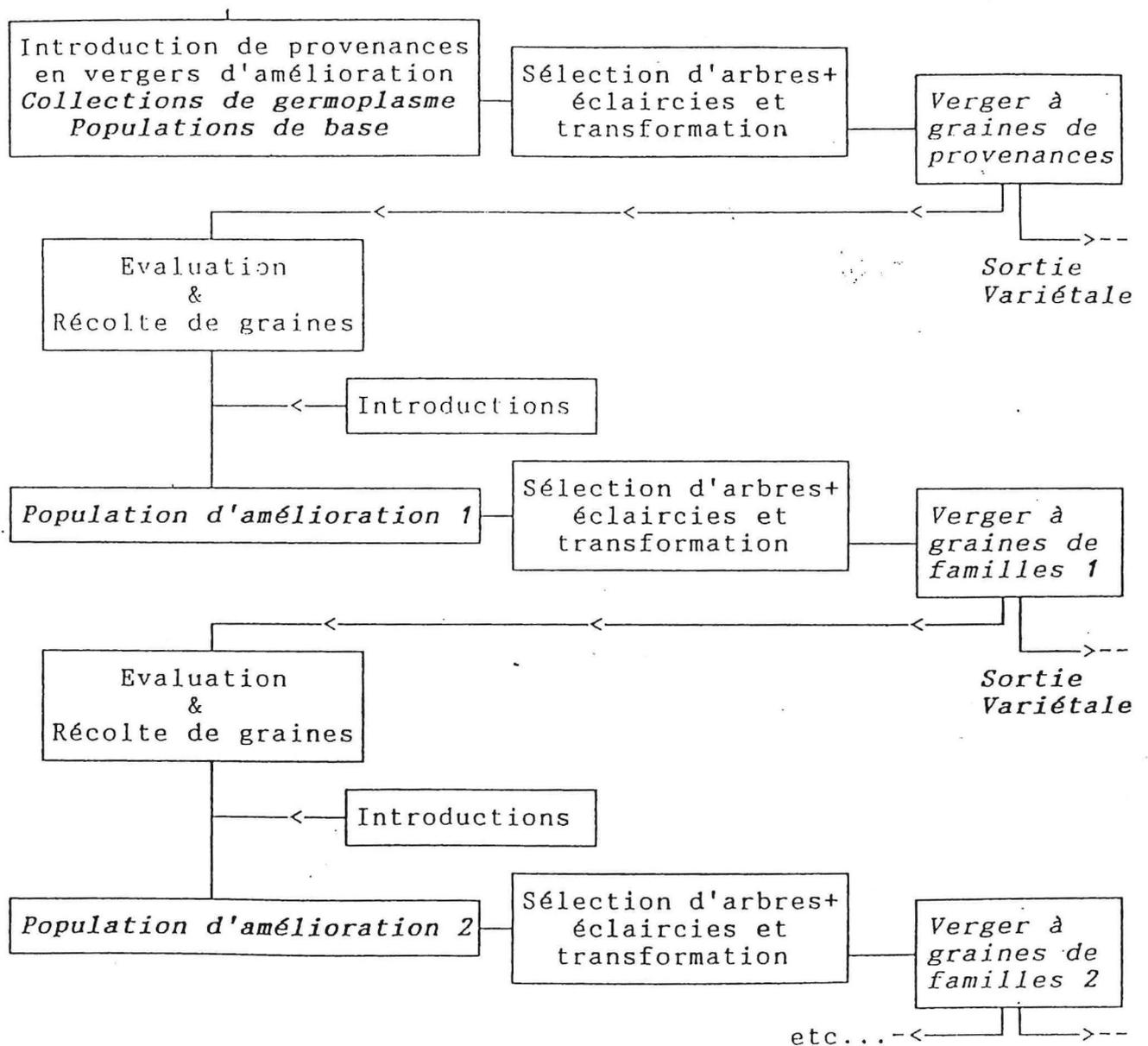


Figure 03: Amélioration des espèces feuillus exotiques à l'aide de Vergers à graines.
 Source: Vincent LEBOT, 1994.

terrains strictement identiques. Avec ces essais multilocaux, on peut évaluer l'adaptation de l'espèce en utilisant les mêmes provenances sur des sites différents sites en mettant en évidence les interactions génotype / environnement. La stratégie opérant par populations multiples (figure n°4) vise à obtenir à moindre frais des génotypes se rapprochant des idéotypes retenus pour satisfaire les besoins de la foresterie villageoise. Elle se fait classiquement par sélection récurrente à chaque génération obtenue par pollinisation libre. Cette stratégie présente l'avantage de développer les sous populations qui sont autant de vergers à graines distincts localisés en des sites différents et soumis à diverses sélections (Lebot, 1996). Comme tous les programmes d'amélioration, ce schéma pourra être réorienté dans l'avenir en fonction des résultats acquis.

En ce qui concerne *Acacia crassicaarpa* les travaux en sont à la première étape, qui consiste à l'étude de la variabilité intraspécifique et à l'évaluation de la première sortie variétale. L'évaluation des essais de provenances s'étale sur plusieurs années car d'une part, le comportement juvénile ne prédit pas forcément les caractères adultes et d'autre part, l'expression des génotypes dans leur environnement varie selon le stade de croissance. Cette évaluation se fait par une prise de mesure régulière d'une gamme importante de caractère. En effet, chaque provenance, assimilée à un génotype, peut manifester son adaptation à un milieu par un ou plusieurs caractères bien déterminés. En outre l'évaluation basée sur plusieurs caractères permet de détecter les corrélations qui pourraient exister entre les caractères. L'existence de ces corrélations constitue un facteur important dans le choix des critères de sélection. L'étude des essais de provenances aboutit également à l'évaluation des paramètres génétiques comme l'héritabilité génotypique, les coefficients de variation phénotypiques, les gains espérés. Ces paramètres prédisent l'efficacité de la sélection.

La stratégie choisie consiste à combiner l'étude de la variabilité intraspécifique et la mise en place des vergers à graines de provenances dans un premier temps. L'étape suivante consiste à sélectionner des arbres plus dans ces vergers et de mettre en place des vergers à graines de seconde génération. Les vergers à graines mis en place dans le cadre de ce programme permettent donc :

- une introduction importante de variabilité et de matériel génétique,
- la comparaison et l'évaluation multilocale de ce matériel,
- un programme de sélection,
- et une production de graines par pollinisation libre de type panmictique.

II.1.3 VERGERS A GRAINES DE PROVENANCES (OU VERGERS A GRAINES DE SEMIS)

Par définition, un verger à graines est une plantation constituée par du matériel végétal sauvage non sélectionné. La plantation doit être convenablement isolée pour empêcher l'arrivée indésirable de pollen étranger. Elle doit être conçue pour favoriser la production des graines et pour diminuer le temps et le coût des récoltes. Dans le cas de notre étude, il s'agit de verger à graines d'amélioration de provenances ou verger à graines de semis.

Des labours en plein sont procédés pour favoriser un développement maximal des arbres. Les plantations ont été effectuées avec des plants âgés de 3 mois et par trouaison de 30 x 30 x 40 cm de dimension quand le terrain n'a pas été labouré. Les entretiens permettent de favoriser les conditions de croissance; jusqu'au moment où les plants arrivent à dominer le recrû. Ces entretiens sont minimales pour *Acacia crassicaarpa* du fait qu'il arrive assez vite à couvrir le sol. Les essais ont subi plusieurs opérations sylvicoles ayant pour but d'éliminer les

Introductions:

Sous populations de base:

Vergers de provenances
(Collections de germoplasme)
Essais multiloceaux

Sortie Variétale:

Sélections d'arbres +
Introductions

Vergers de familles

Sortie Variétale:

Sélections &
Introductions

Vergers de familles

Sortie Variétale:

Sélection
Introductions

Vergers de familles

Sortie Variétale:

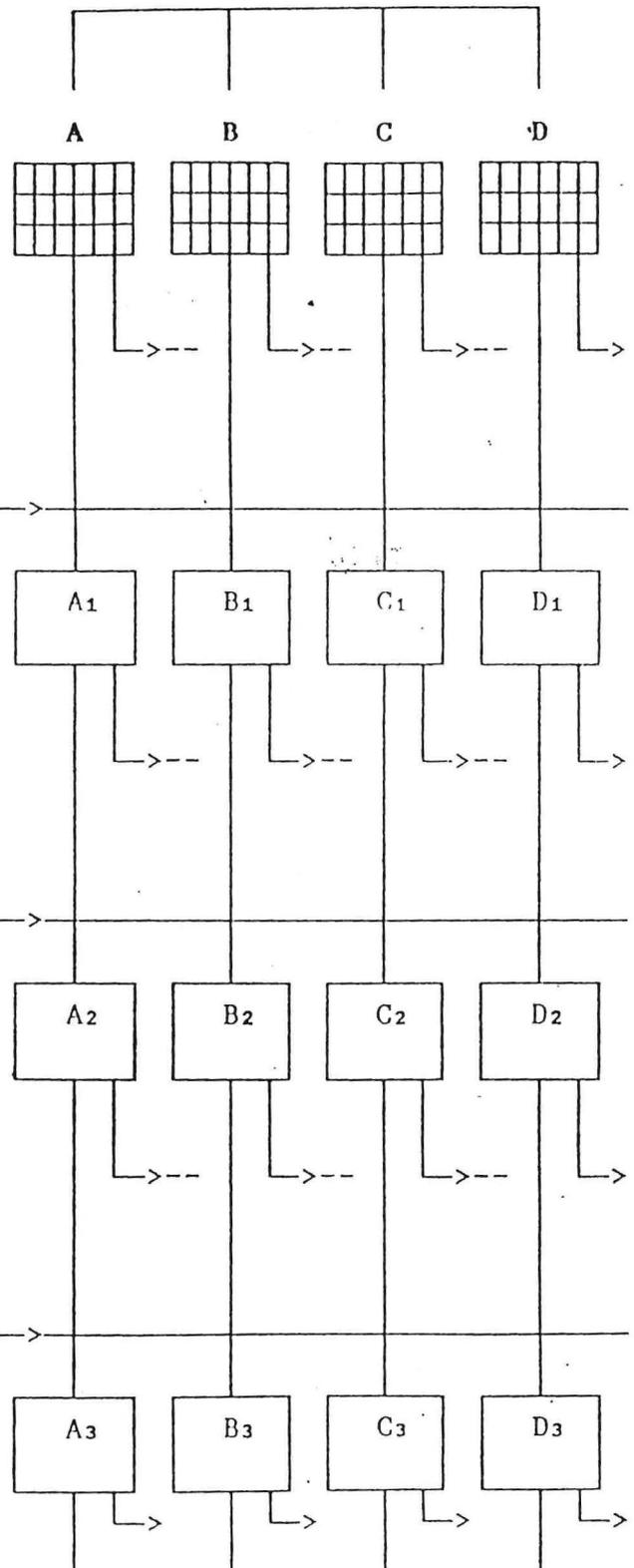


Figure n°4: Sélection récurrente par populations multiples constituées par des vergers à graines.

Source: Vincent LEBOT, 1994.

mauvais géniteurs. Il s'agit essentiellement d'éclaircies sélectives.

II.1.3.1 Dispositifs expérimentaux

Les vergers sont mis en place selon un dispositif qui permet d'atteindre les objectifs affichés par la stratégie et décrits précédemment. Les dispositifs ont été délibérément simplifiés pour réduire le coût de mise en place et les risques d'erreurs lors des éclaircies et/ou de la collecte des données. Ils permettent l'évaluation précise et la comparaison rigoureuse des traitements qui sont ici des provenances. Il s'agit dans tous les cas de blocs complets randomisés. Les unités expérimentales sont constituées par des parcelles de 9 arbres plantés à écartement variables selon les vergers et les sites. Les reliquats de pépinière sont mis en parcelles conservatoires autour des essais, servant ainsi de bordure.

L'écartement des individus doit être identique sur tout l'essai et la disposition des parcelles doit être totalement aléatoire. D'une manière générale, les densités initiales sont directement dépendantes des densités finales que l'on souhaite obtenir pour les semenciers du verger. C'est à dire 7 mètres en tous sens pour les espèces feuillues allogames à pollinisation entomophile (Lebot, 1994). Les jeunes vergers sont donc toujours plantés à haute densité. Les éclaircies successives amènent la densité finale à 100 et 200 tiges par hectare. Des interventions régulières doivent être menées pour vérifier et éliminer les rejets de souches des arbres abattus lors des éclaircies. Des parcelles de forme carrée ou rectangulaire se prêtent beaucoup mieux aux comparaisons que les lignes puisqu'elles limitent les compétitions entre les génotypiques. Des placeaux de 4 x 4 arbres semblent correspondre à un bon compromis entre les différents objectifs.

Les dispositifs du verger d'amélioration des provenances reposent sur des principes simples tel qu'en sélection, les gains génétiques augmentent avec le pourcentage de génotypes éliminés. Les dispositifs qui ne contiennent que peu d'individus initialement retardent l'impact de la sélection et vice versa, les dispositifs qui contiennent un grand nombre d'individus permettent d'améliorer l'impact de la sélection.

II.1.3.2 La sélection

La sélection s'effectue généralement en deux étapes :

- Sélection précoce (<1 à 2 ans) qui consiste à enlever 30 à 50% des individus indésirables. Il s'agit donc d'une *éclaircie sanitaire*.
- Sélections qui consistent à conserver les meilleurs individus qui interviennent théoriquement avant l'âge de la première floraison, soit entre 2 à 5 ans selon le site. On les appelle des *éclaircies sélectives*. Ces sélections sont basées sur le phénotype des individus et doivent considérer les résultats des travaux d'inventaire déjà effectués.

Les inventaires portent sur des caractéristiques de croissance, de forme, de branchaison, de floraison et de fructification. Ces mesures sont faites au champ par du personnel formé et expérimenté au moyen de matériel simple (perches graduées, rubans dendrométriques). Les données d'inventaires sont ensuite saisies, conservées, analysées et synthétisées, elles serviront d'outils de décision pour la gestion future des parcelles.

Les éclaircies sont effectuées de telle sorte que l'on conserve les meilleurs individus dans chaque provenance selon certains caractères et qu'on élimine successivement les moins performants. Les sélections s'effectuent à l'intérieur des provenances de façon que toutes les provenances introduites soient conservées pour maintenir la diversité génétique initiale du

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

Figure n°5: - Exemple de bloc d'amélioration lors de la plantation puis à maturité, après éclaircies successives.

Source: Vincent LEBOT, 1994

verger. Ces sélections intra-parcelles permettent de conserver une distribution homogène et relativement équilibrée des géniteurs dans les vergers puisqu'elles tiennent compte, quand c'est possible, des contraintes de répartition spatiale. Elle vise à réduire les écarts à la panmixie théorique, condition nécessaire à une sortie variétale "synthétique" par pollinisation libre. Ce type de dispositif vise donc d'une part à valoriser les effets génétiques transmissibles par reproduction sexuée et d'autre part la recherche d'une diversité allélique maximale à partir d'un nombre important d'origine géographique. En effet, elle permet d'utiliser conjointement les effets génétiques additifs intra et interprovenances.

Autrement dit, la réalisation des croisements inter-populations que recherche ce type de dispositif, permet de réunir dans une seule variété une combinaison des gènes favorables originaires de populations naturelles différentes. Les individus ainsi produits présenteront un niveau élevé d'hétérozygotie.

La figure n°5 illustre l'un des nombreux blocs d'un verger constitué de 16 provenances. Le verger est considéré dans un premier temps comme un essai comparatif de provenances. Ce type de dispositif permet un gain de temps et d'argent puisque l'on combine plusieurs objectifs.

II.1.3.3 Réalisations à Madagascar

Dans le cadre du projet de création de vergers à graines, cinq essais comparatifs de provenance sont mis en place pour *Acacia crassicaarpa* dans divers sites correspondant à des conditions bioclimatiques différentes. Ivoloïna (Tamatave) et Mahela (Brickaville) représente la région orientale, Miadana pour la région occidentale et Kianjasoa pour le moyen Ouest. Les caractéristiques de ces différents essais sont présentées dans le tableau n°4. Etant donné qu'*Acacia crassicaarpa* est originaire du nord de l'Australie et du sud de la Papouasie Nouvelle Guinée, elle est supposée plus adaptée aux zones chaudes et humides des basses altitudes, ce qui correspond à la zone orientale de Madagascar. C'est pour cette raison que ce travail s'attachera uniquement à cette région correspondant à l'aire potentielle d'utilisation de cette espèce (figure n°6).

Tableau n°4 : - Caractéristiques des différents essais d'*Acacia crassicaarpa* réalisés

Numéro d'essai	Station	Surface par essai	Date de plantation	Nombre éclaircies prévue/réalisée	Nombre d'inventaires
161	Ivoloïna	1.0	07/96	3/0	2
109	Mahela	1.5	05/93	4/2	5
132	Mahela	3.2	02/95	3/2	3
140	Miadana	0.3	01/96	1/0	2
146	Kianjasoa	2.1	12/96	3/0	2

II.2 LES DIFFERENTES STATIONS D'ETUDE

Notre étude concerne la zone bioclimatique orientale du pays (voir annexe 11), à l'intérieur de laquelle se répartissent les deux sites d'expérimentation du F.O.F.I.F.A. Le climat y est donc de type perhumide à humide avec une température moyenne annuelle de 21 à 26°C et une précipitation moyenne de 2.000 à 3.500 mm/an et avec au plus un mois écossec. Le but est d'étudier le comportement de l'espèce dans des divers milieux et de répliquer les vergers sur différents sites pour la réplification des vergers tout en permettant de voir l'effet de l'environnement tel que :

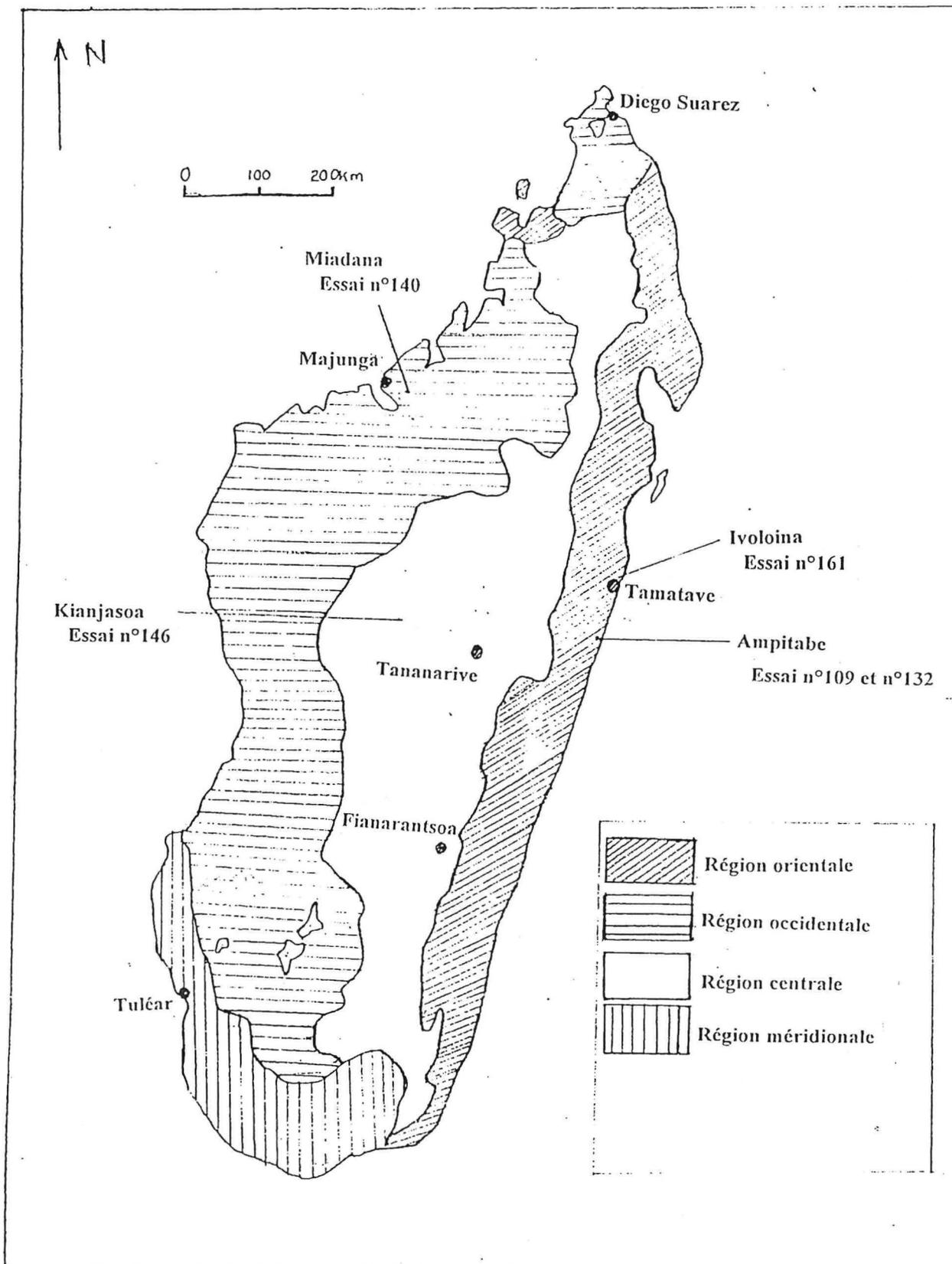


Figure n°6: Localisation des stations d'étude.

Source: basé sur RAZANAKA (1989), Simplifié

- la station d'Ivoloina qui représente le contexte littoral,
- la station de Mahela (Ampitabe) en tant que zone de basse altitude continentale.

Tableau n°5 : - Caractéristiques des stations d'études

Caractéristiques	Station de Mahela	Station d'Ivoloina
Localisation	Côte Est	Côte Est,
- Région	Brickaville	Tamatave
- longitude	49°27'E	49°25'E
- latitude	18°02'S	18°09'S
- altitude	50m	5m
Climat		
- type	tropicale humide	tropicale perhumide
- précipitation	2300 mm/an	3500 mm/an
- jours de pluie/an	217 jours	240 jours
- temp. moyenne annuelle	24°C avec Tx = 28°C	26°C avec Tx = 28°C
- mois sec	1 mois	presque absent
Sol	Sol à texture sableuse dégradé par lessivage associé au passage fréquent du feu	Constitué généralement de sables gris, sous un horizon humifère (régosol), sur sable dunaire calcaire plus ou moins décalcifié et pauvre
Végétation	Dominée par une pseudo-steppe à graminées "Aristida", reliques de forêt ombrophiles, <i>Ravenala Madagascariensis</i>	Terrain à <i>Philippia</i>

Tableau n°6 : - Données climatiques pour la région de Tamatave.

Caractères	Juill.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Total
P(mm)	210,3	118,7	98,0	102,1	74,6	212,6	388,1	557,9	269,4	335,8	305,3	217,6	3816,1
T(°C)	21,1	21,0	21,5	27,5	24,5	25,6	26,6	26,7	26,1	25,2	24,7	21,8	11,8
Tx(°C)	24,9	25,0	25,8	26,9	28,3	29,4	30,0	30,5	29,7	28,9	27,6	25,8	27,7
Tn(°C)	17,3	16,9	17,1	18,8	20,7	22,8	23,16	22,9	22,5	21,5	20,1	17,7	20,2

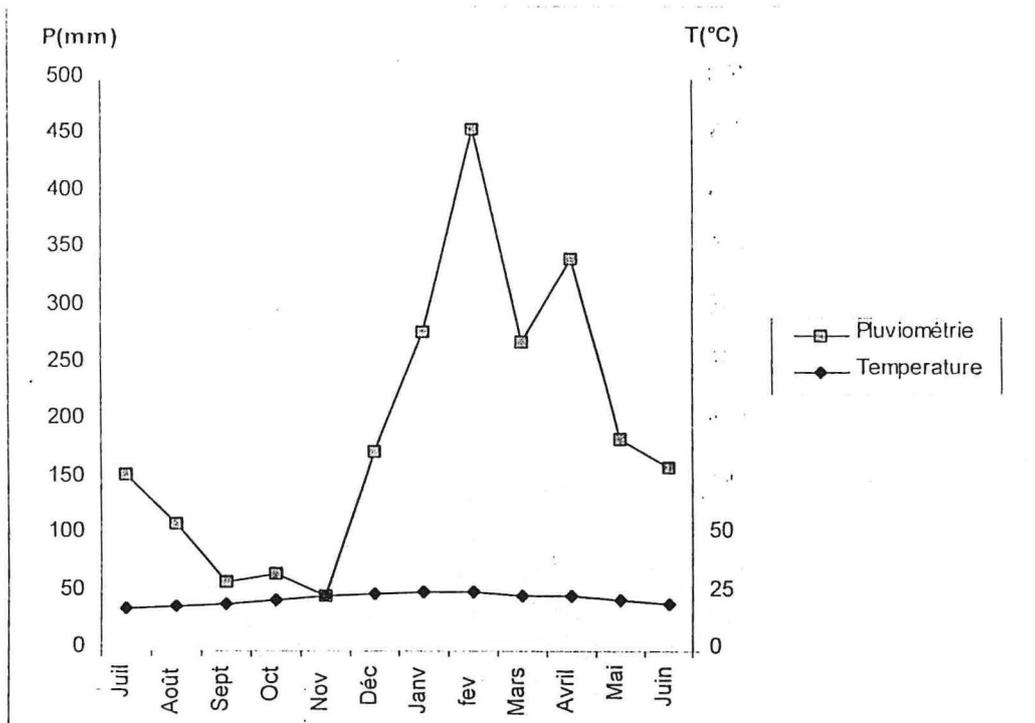
Source : Service météorologique Ampandrianomby

Les courbes ombrothermiques de Gausson pour les deux régions sont obtenus à partir des données climatiques entre 1990 et 1995. Les données brutes sont présentées en annexe 3.

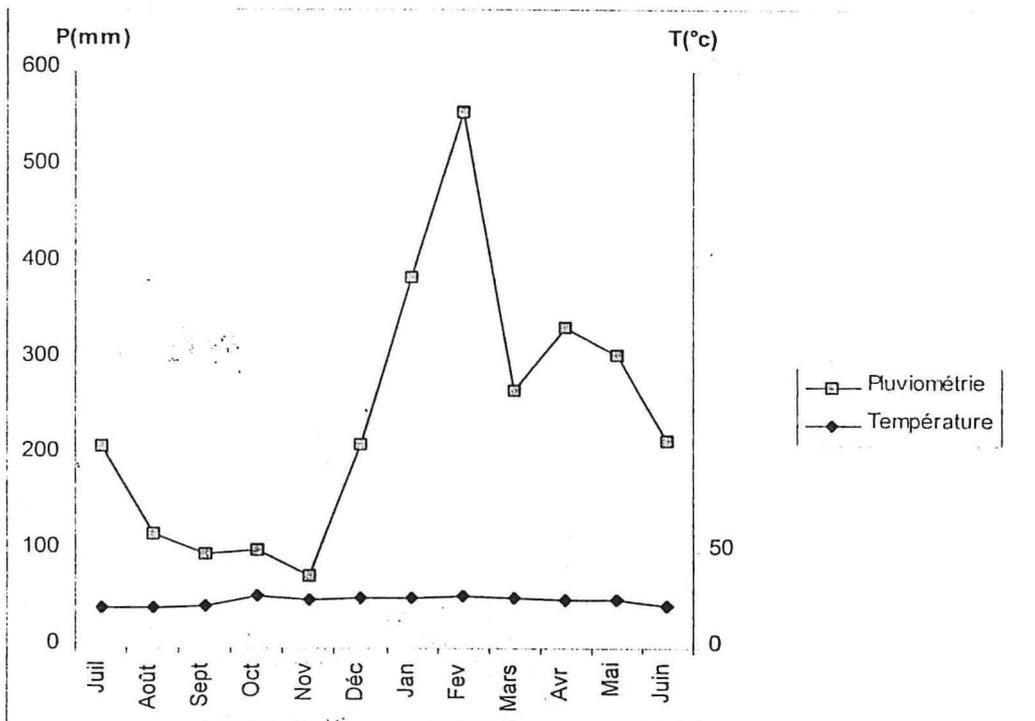
Tableau n°7 : - Données climatiques pour la région de Brickaville.

Caractères	Juill.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Total
P(mm)	154,7	111,4	59,6	66,6	48,3	174,2	277,9	456,3	268,7	342,3	184,1	160,5	2304,5
T(°C)	18,9	19,1	20,2	22,0	23,6	24,4	25,7	25,1	24,1	23,7	22,4	20,2	22,4
Tx	24,1	24,4	23,8	28,7	29,2	30,8	31,5	30,6	29,8	28,3	27,9	25,8	27,9
Tn	13,7	13,8	14,5	15,8	18,0	18,3	16,4	19,7	19,6	19,1	17,0	14,6	16,7

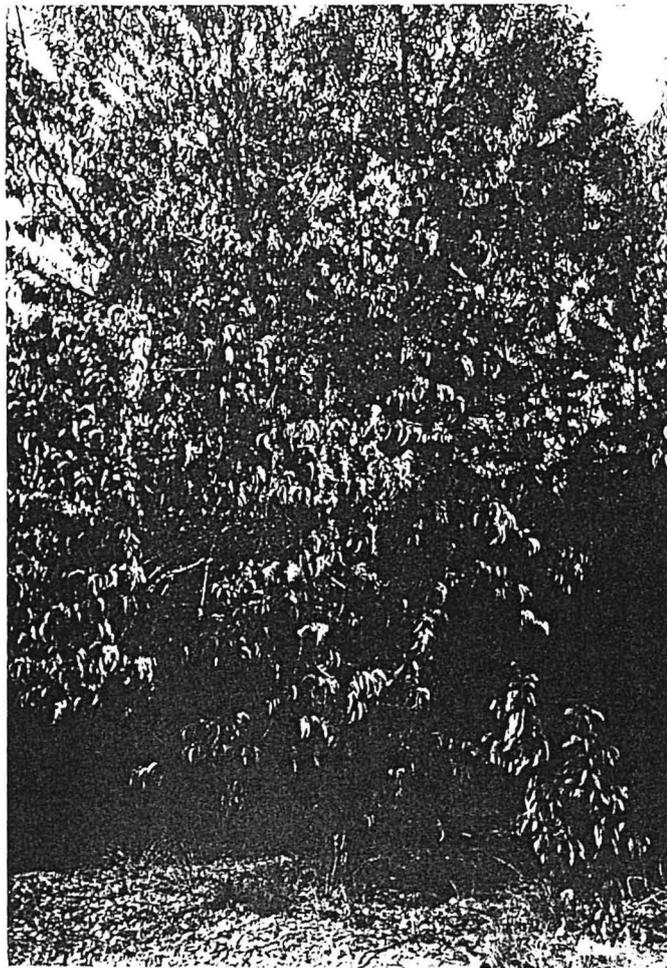
Source : Service météorologique Ampandrianomby



Graph 1 : - Courbe ombrothermique de la région de Tamatave.



Graph 2 : - Courbe ombrothermique de la région de Brickaville.



Cliché n°1: - Parcelle d'*Acacia crassicarpa* à Mahela.

Source: auteur



Cliché n°2: - Plantation de deux ans à Ivoloina

Source: auteur

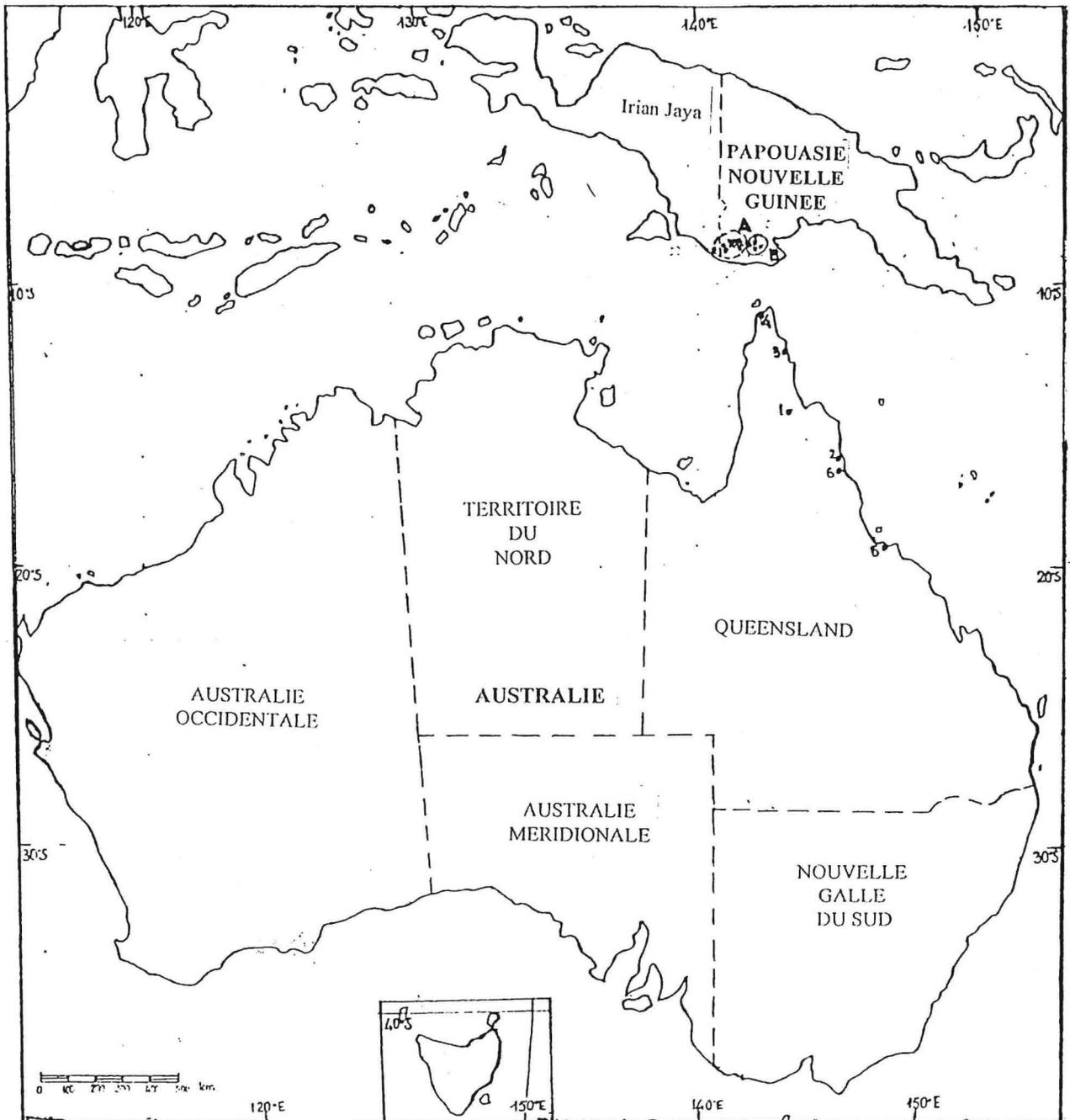
II.3 CARACTERISTIQUES DES ESSAIS D'ACACIA CRASSICARPA ETUDIES

Tableau n°8 : Caractéristiques des essais étudiés.

Caractéristiques	Essai 109	Essai 132	Essai 161
Lieu	Mahela		Ivoloina
Date de semis	09/02/93	14/11/94	25/04/96
Prétraitement des graines	Ebullition et refroidissement pendant 12 heures		
Type de semis	Semis direct en sachet polyéthylène, 2 graines par sachet, puis démarrage		semis sur germe puis repiquage en sachet
Traitements en pépinière	fongicide, insecticide et NPK 11 22 16 une fois par semaine		
Préparation du sol	2 labours en plein		Dégagement manuel et trouaison de 60 x 60 x 40 cm
Fertilisation et arrosage	Sans		Arrosage
Date de plantation	05/93	13/02/95	10-11/09/1996
Ecartement à la plantation	3 x 3 m en carré		2 x 2 m en carré
Densité	1.111 plants/ha		2.500 plants/ha
Dispositif statistique	Blocs complets équilibrés		
Nombre de blocs	10 blocs		8 blocs
Traitements	10 provenances	20 provenances	9 provenances
Parcelle unitaire	9 plants en 3 x 3	9 plants en 3 x 3	16 plants en 4 x 4
Bordure	parcelles conservatoires		
Surface	1,5 ha	3,2 ha	0.915 ha
Eclaircies	1ère: du 05/95 de 9 à 4 arbres par parcelle (493 plants/ha) 2ème: du 07/96 de 4 arbres à 2 par parcelle (246 plants/ha)	1ère: du 05/96 de 9 à 4 arbres par parcelle (493 plants /ha) 2ème: en 1997 de 4 à 2 arbres par parcelle (246 plants/ha)	-
Inventaires	à 14, 25, 36, 49, et 61 mois	à 13, 29 et 40 mois.	à 14 et 21 mois

II.4 LES DIFFERENTES PROVENANCES ETUDIEES

Une provenance peut se définir comme un lot de graines récoltées sur un ou plusieurs arbres dans un site donné. Les provenances choisies font déjà l'objet d'un premier tri en fonction des résultats obtenus dans d'autres pays et en tenant compte de l'adéquation entre les conditions écologiques d'origine et celle de la station. Ces provenances sont importées avec l'appui du laboratoire de graines du Cirad-forêt. Une attention particulière est donc donnée aux résultats acquis dans d'autres pays et sur divers sites d'expérimentation. La liste des provenances introduites n'est pas restrictive et de nouvelles introductions sont envisageables à



- A
- Arufi
 - Bensbach WP
 - Bimadebum village
 - Dediredi
 - Dimissi village
 - Gubam village
 - Konikof to Serisa
 - Mai Kusa River
 - Mata

- PNG
- Pongaki E of Morehead
 - Tokwa W Morehead
 - Wemenever Province
 - Western Province

- B
- Boite
 - Kapal Oriomo
 - Oriomo River
 - Woroi Wimpi

- Qld
- 1: 10 km S Musgrave
 - 2: 7Km Daintree
 - 3: Chillie Beach
 - 4: Jardine River Bamanga
 - 5: SE of Townsville
 - 6: Shoteel LA

Figure n°7: - Localisation géographique des différentes provenances introduites.

Source: auteur

chaque cycle. Les travaux dans cette étude concernent les toutes premières introductions de cette espèce à Madagascar. On n'a donc pas d'indication sur le comportement de ces provenances dans la zone d'étude.

Tableau n°9 : Caractéristiques des provenances introduites.

N° de Lot	Provenance	Pays	Longitude	Latitude	Altitude	Nombre semenciers		
						109	132	161
87/06293N	10 km S Musgraves	Australie Qld	143° 30'E	14° 52'S	67	10	10	-
81/03368N	7 km Daintree	Australie Qld	145° 22'E	16° 16'S	50	10	-	-
95/10275N	Arufi	Papouasie NG	141° 55'E	8°43'S	25	-	-	50
95/10267N	Bensbach WP	Papouasie NG	141°17'E	8°53'S	25	-	-	49
95/10271N	idem	idem	idem	idem	idem	-	-	35
89/08829N	Bimadebum village	Papouasie NG	141°55'E	08°37'S	25	-	230	-
94/10222N	idem	idem	idem	idem	idem	-	12	-
87/06776N	Boîte	Papouasie NG	142° 00'E	8° 40'S	30	10	-	-
94/10218N	idem	idem	idem	idem	idem	-	9	-
95/10273N	Chili Beach	Australie Qld	143°23'E	12°38'S	3	-	-	10
89/08856N	Dediredi	Papouasie NG	141°51'E	8°40'S	30	-	inc	-
89/08848N	Dimissi village	Papouasie NG	141° 13'E	8° 31'S	50	10	-	-
89/08847N	idem	idem	idem	idem	idem	-	inc	-
94/10225N	idem	idem	idem	idem	idem	-	4	-
95/10274N	idem	idem	idem	idem	idem	-	-	65
94/10221N	Gubam village	Papouasie NG	141°55'E	8°37'S	25	-	15	-
95/10270N	Jardine River Bamanga	Australie Qld	142°22'E	11°02'S	20	-	-	20
95/10268N	Kapal Oriomo	Papouasie NG	143°03'E	8°52'S	30	-	-	50
94/10224N	Konifok to Serisa,	Papouasie NG	141°27'E	8°34'S	25	-	3	-
89/08838N	Mai Kussa River	Papouasie NG	141° 30'E	8° 30'S	30	10	-	-
89/08858N	idem	idem	idem	idem	idem	5	-	-
90/09011N	idem	idem	idem	idem	idem	-	7	-
94/10223N	idem	idem	idem	idem	idem	-	2	-
84/04608N	Mata	Papouasie NG	141° 45'E	8° 40'S	30	10	-	-
88/08149N	Oriomo River	Papouasie NG	143°10'E	8°50'S	20	-	11	-
89/08836N	Pongaki E of Morehead	Papouasie NG	141°50'E	8°40'S	0	-	13	-
93/09794N	SE of Townsville	Australie Qld	147°01'E	19°23'S	30	-	8	-
94/10220N	idem	idem	idem	idem	idem	-	-	-
84/04611N	Shoteel LA	Australie Qld	145°38'E	16°57'S	440	-	5	-
91/09141N	Tokwa W Morehead	Papouasie NG	141° 32'E	8° 42'S	30	10	-	10
91/09011N	idem	idem	idem	idem	idem	-	10	-
95/10272N	idem	idem	idem	idem	idem	-	-	10
87/06786N	Wemenever province	Papouasie NG	141° 26'E	8° 51'S	30	10	-	-
94/10219N	idem	idem	idem	idem	idem	-	9	-
89/08858N	Western Province	Papouasie NG	141°30'E	08°30'S	30	-	5	-
84/04610N	Woroi Wimpi	Papouasie NG	143° 00'E	8° 49'S	20	15	15	-
TOTAL						100	373	299

Inc: inconnu ; Qld: Queensland ; NG: Nouvel Guinée

II.5 LES CARACTERES ETUDIES

Compte tenu des objectifs assignés pour la sortie variétale des vergers, on considère les caractères mettant en évidence les performances individuelles du point de vue productivité, forme et certains aspects phénologiques (floraison et fructification). Les caractères peuvent être donc mesurés directement sur terrain ou dérivés des grandeurs mesurées.

II.5.1 LES CARACTERES MESURES

Le tableau n°11 récapitule les différents caractères mesurés sur terrain, les méthodes de mesures utilisées et la précision des mesures.

Tableau n°10 : - les différents caractères mesurés sur terrain.

Caractères	Sigle	Unités	Instrument des mesures	Précisions
- Hauteur totale	H	mètre	- sunnto - perche graduée	+ ou - 50 cm + ou - 20 cm
- Circonférence à 1.30m	C _{1,30}	centimètre	- ruban dendrométrique	+ ou - 5 mm
- Circonférence au collet	Cc	idem	- idem	+ ou - 5 mm
- Rectitude des brins	R	cotation 1 à 5	- appréciation visuelle	-
- Fourchaison	F	nombre entier	- comptage	-
- Nombre de brin	B	nombre entier	- cotation	-
- Floraison	Fl	présence/absence	- appréciation visuelle	-
- Fructification	Fr	présence/absence	- appréciation visuelle	-

II.5.1.1 Les caractères quantitatifs

La hauteur est le caractère le plus indicatif de la croissance pour la plupart des espèces, il est retenu généralement comme indice de fertilité pour une station donnée. Mais pour *Acacia crassicarpa*, l'aspect multicaule de l'espèce dans les essais considérés rend son estimation difficile et ne sera évidente qu'au premier inventaire.

La circonférence à 1.30 m est le caractère le plus facile à mesurer et apporte le plus de précision, il informe sur la vigueur. Pour les analyses, il sera judicieux de le considérer plus dans le détail par rapport aux autres caractères. Compte tenu du caractère multicaule des individus, on a choisi de synthétiser les circonférences des différents brins par la somme de leur surface terrière pour chaque arbre.

II.5.1.2 Les caractères qualitatifs

Les caractères de floraison et de fructification constituent également les éléments importants et méritent d'être considérés pour des vergers à graines qui sont destinés à produire des semences. Ces deux caractères sont appréciés avec des côtes correspondant à la présence ou l'absence de fleurs et de restes des fruits de la précédente floraison. Pour chaque caractère, le cote 1 est attribuée à la présence et 0 pour l'absence.

En ce qui concerne les caractères de forme, on a choisi de considérer la rectitude des tiges ou des brins et la présence de fourche. L'objectif est d'évaluer les possibilités d'utilisation de l'espèce dans le contexte de la foresterie villageoise où les espèces à usages multiples sont les plus intéressantes. Pour l'appréciation des caractères qualitatifs notamment des caractères de forme, on a retenu un système de cotation tel que :

- on a considéré comme un brin fourchu tout ce qui présente des fourches au-dessus de 1.30 m jusqu'à mi-hauteur du fût. Pour chaque arbre, le taux correspond au nombre de brins fourchus par arbre.

Pour constater l'état sanitaire des arbres, de simples observations ont été effectuées sur les éventuelles maladies ou attaques d'insectes.

II.5.2 LES CARACTERES DERIVES

II.5.2.1 La surface terrière

La surface terrière pour chaque arbre résulte de la somme des surfaces terrières pour chaque brin de cet arbre. Elle est donc calculée avec la formule suivante :

$$G = \sum C_i^2 / 4\pi$$

i désigne le nombre de brins mesurés pour chaque arbre

C_i : la surface terrière correspondant au $i^{\text{ème}}$ brin

G : la surface terrière de l'arbre

II.5.2.2 Le poids en bois

C'est un caractère très intéressant compte tenu de l'objectif d'utilisation de cette espèce. Pour son estimation, on a donc étudié la corrélation entre le poids et certains caractères facilement mesurables sur terrain, comme la surface terrière à 1.30 ($G_{1.30}$), la circonférence au collet (C_c), et la circonférence du plus gros brins par la méthode de régression linéaire et non linéaire. On a cherché donc à construire des modèles de la forme suivante :

$$Y = \alpha + \beta X$$

avec α coefficient constant

β le coefficient de détermination

Y variable expliquée ou dépendante (poids : P en kg)

X variable explicative (surface terrière : G en cm^2)

α et β sont des paramètres à estimer et à tester s'ils sont significativement différents de zéro au seuil de 5%.

En supposant que chaque échantillon est représentatif de la population de chaque essai, les équations obtenues permettent d'estimer le poids P (la production en Kg) à partir de la valeur individuelle de la surface terrière (en cm^2). Les résultats de l'estimation de ce caractère seront donnés dans le chapitre résultat. Les procédures de mesure et le mode d'échantillonnage seront expliqués dans les méthodes d'inventaire.

II.5.2.3 Les accroissements moyens annuels

Ce type de caractère a été estimé pour la hauteur, la surface terrière et les autres caractères de production tel que le poids et le volume. Ils sont obtenus par les formules suivantes :

$$AMAX \text{ ou } \Delta X = X_i / t$$

X : valeur du caractère à l'âge de mesure t

t : l'âge de l'arbre mesuré en année

II.5.2.4 Estimation du volume

L'estimation du volume nous semble être difficile à cause du port généralement multicaule des individus et de la forme des fûts assez irrégulière et délicatement modélisable. On a utilisé la méthode de cubage de Pressler en considérant que chaque brin est constituée par un cylindre de la base à 1.30m et un cône de 1.30m au bout fin de 3 cm de diamètre. Il faut noter que cette méthode surestime le volume du fait que tous les brins composant chaque pied sont supposés avoir de la même longueur. Le volume sur pied est donc calculé à partir de la formule suivante :

$$V = (\sum G_{130} \times 1.3) / 4\pi + (\sum G_{130} \times (H - 1.3)) / 12\pi$$

où V : volume de bois sur pied exprimé en m^3
 G_{130} : surface terrière à 1.30m exprimé en m^2
 H : hauteur totale exprimé en m

II.6 METHODES D'INVENTAIRE

II.6.1 INVENTAIRES CLASSIQUES

Comme l'étude consiste à comparer les provenances aussi bien au niveau intra qu'interprovenances, les inventaires ont été effectués en plein pour tous les caractères. Les travaux d'inventaire sont réalisés depuis plusieurs années, nous avons suivi le système de repérage existant pour chaque individu. La méthode consiste à fixer le sens de relevé à l'intérieur de chaque parcelle, chaque arbre de la parcelle a un numéro permettant son identification tout au long des différents inventaires. Pour les caractères de croissance, compte tenu du caractère très branchu des individus dans tous les sites, nous n'avons considéré que les brins principaux pour les relevés. Nous avons donc défini comme brins toutes les branches dont la base se situe au niveau inférieur à 1.30 m du sol et atteignant la hauteur moyenne du houppier. Cette définition reste valable pour toute l'étude. Pour que nos données soient cohérentes et pour que le nombre de brin soit le même d'un inventaire à un autre, nous nous sommes référés aux données existantes. Un modèle de fiche de relevé utilisée pendant les inventaires est présenté en annexe 2.

II.6.2 INVENTAIRE SPECIFIQUE A L'ESTIMATION DE LA PRODUCTION

Pour l'estimation du poids, la méthode consiste à établir une relation mathématique entre un paramètre dendrométrique facile à mesurer et le poids en bois des arbres. On a effectué alors le pesage d'une centaine d'arbres issus des travaux des éclaircies ou prélevés dans les bordures sans tenir compte des provenances. L'échantillonnage a été établi en fonction des critères suivants :

- toutes les classes de circonférence des individus existants dans le peuplement sont représentées, puisque les modèles obtenus ne pourront être utilisés que dans le domaine strict des dimensions d'arbres pour lesquelles ils ont été établis.
- l'intensité d'échantillonnage est fonction du nombre de tiges dans chaque classe d'âge.

Pour chaque arbre, on a pesé sur place toute la biomasse ligneuse supérieure à 3 cm de diamètre après avoir mesuré certaines caractéristiques nécessaires à l'étude de régression comme les circonférences à 1.30 m des brins et la circonférence au collet de la souche. Le pesage a été effectué une semaine après l'abattage pour essayer d'homogénéiser l'état d'humidité des arbres des différentes opérations puisque nous avons bénéficié des résultats des travaux antérieurs. Le pourcentage de l'écorce et la densité du bois ont été déterminés au laboratoire technologie du bois du D.R.F.P./F.O.F.I.F.A. sur des échantillons représentatifs.

II.7 MISE EN FORME DES DONNEES A ANALYSER

Les travaux d'évaluation au sein des vergers sont continus, les données relatives à chaque essai depuis son installation sont conservées au moins jusqu'à l'évaluation finale. La fiabilité des données est déterminante pour la gestion future des vergers, leur vérification constitue donc une étape incontournable avant le traitement proprement dit. Les erreurs peuvent être détectées par la présence éventuelle de données aberrantes ou de données manquantes. Leur origine est diverse à savoir les prises de mesures, notation, saisie, gestion des données sur tableur, etc.

Les huit caractères mesurés ont permis de déterminer les variables les plus pertinentes utilisées généralement par les chercheurs en foresterie. Quelques transformations ont été apportées pour certaines variables comme le montre le tableau n°12.

Tableau n°11 : Transformation des variables.

Caractères	Transformation	Variables transformées
- hauteur totale	-	- hauteur moyenne par parcelle
- circonférences à 1.30m	- surface terrière : $G = \sum C_i^2 / 4 \times \pi$	- surface terrière moyenne par parcelle (cm ²)
- rectitude des brins*	- Pourcentage des brins de type 1 par parcelle : $BD = \sum NBD \times 100 / \sum NB$ - Pourcentage des brins de type 2 par parcelle : $BE = \sum NBE \times 100 / \sum NB$	- valeur moyenne par parcelle du pourcentage de brins droits - valeur moyenne par parcelle du pourcentage de brins courbés
- fourchaison	$PBF = \sum F \times 100 / \sum NB$	- pourcentage des brins fourchus par arbre
- nombre de brins	-	- NB : moyenne de nombres de brins par arbre par parcelle
- floraison	-	- FI : pourcentage des arbres en fleurs par parcelle
- fructification	-	- Fr : pourcentage des arbres présentant des gousses par parcelle

* Pour faciliter l'analyse des données relatives à la rectitude, on a regroupé les qualités de brins en deux types :

type 1 : ce sont les brins ayant comme notation 1 et 2. Ce sont les brins de qualités BD comme "brins droits". Autrement dit, ils ont la qualité de perche susceptible de trouver d'autre usage que le bois d'énergie.

type 2 : ce sont les brins ayant comme notation 3,4 et 5. ils sont classés dans la qualité BE comme "bois d'énergie". Leur forme ne permettant pas d'autre utilisation que le bois d'énergie.

II.8 MOYENS D'ANALYSES

L'analyse statistique des données a été effectuée avec le logiciel SAS qui est un ensemble de logiciel permettant d'effectuer différentes opérations statistiques à savoir l'accès au données, le stockage, la manipulation ou modification, la programmation, le traitement ou l'analyse, le calcul des statistiques simples et complexes et le tracé de graphiques. Il permet donc à la fois la gestion et l'analyse des données quels que soit les dispositifs expérimentaux. Ce logiciel est apprécié par sa souplesse et son adaptation au traitement des données issues des essais en amélioration génétique. C'est ainsi qu'il reste le plus utilisé au sein du FO.FI.FA./Cirad-forêt et par les chercheurs en général. Des exemples de programmes ainsi que des résultats d'analyse seront présentés en annexes 4 et 5.

II.8.1 ESTIMATION DES PARAMETRES GENETIQUES

À partir des résultats de l'analyse de variance, on peut procéder aux calculs des différents paramètres génétiques, à savoir :

- la variabilité phénotypique,
- l'héritabilité génotypique (héritabilité au sens large),
- les gains génotypiques conventionnels, et les gains phénotypiques obtenus par la sélection.

II.8.1.1 Variabilité phénotypique

Les valeurs moyennes obtenus par parcelle pour chacune des caractéristiques étudiées correspondent à des valeurs phénotypiques P. Ces dernières sont en réalité composées de deux valeurs : une valeur génotypique G et une valeur environnementale (ou déviation environnemental) E, d'où l'équation $P = G + E$. Cette relation s'écrit en terme de variance :

$$\sigma^2_P = \sigma^2 (G + E)$$

$$\sigma^2_P = \sigma^2_G + \sigma^2_E + 2 \text{COV} (G, E)$$

$$\sigma^2_P = \sigma^2_G + \sigma^2_E$$

Le génotype et l'environnement forment deux variables indépendantes alors leurs variances sont additives et leur covariance est nulle par la randomisation des génotypes, ici les provenances. La variabilité phénotypique entre traitement (provenance) est déterminée par le coefficient de variation phénotypique CV_P à partir de l'écart type phénotypique :

$CV_P = \sigma_P / X$ tel que X représente la moyenne générale.

A partir du tableau d'analyse de la variance, on peut avoir :

$$\sigma^2_G = 1/r (CM_P - CM_r)$$

$$\sigma^2_E = CM_r$$

$$\sigma_P = \sqrt{CM_P/r}$$

$$\text{d'où } CV_P = 1/X * (CM_P/r)^{1/2}$$

La variabilité phénotypique des caractères d'une parcelle expérimentale à l'autre (intra traitement) est par contre estimée par le CV intra qui est le coefficient de variation de l'ensemble de tiges de la provenance considérée dont les valeurs sont ajustées à l'effet bloc si celui-ci est significatif.

$$\text{D'où } CV = \sigma_P / X$$

L'écart type résiduel est utilisé pour mesurer la précision ou la dispersion d'un essai pour un caractère donné à une âge déterminé. Il permet aussi de comparer les précisions obtenues dans les différents essais de même type sur un même variable ou sur des variables différentes dans un même essai. Pour pouvoir comparer la précision des variables exprimées par des unités différentes, on utilise le coefficient de variation résiduel qui est l'écart type résiduel exprimé en pourcentage de la moyenne tel que :

$$CV_r = 100 \times \sigma_r / X$$

II.8.1.2 L'héritabilité génotypique

L'héritabilité génotypique (h^2_g) ou héritabilité au sens large est définie comme la part de la variance phénotypique attribuable à l'effet du génotype. Elle est donc présentée sous forme de rapport :

$$h^2_g = \sigma^2_G / \sigma^2_P$$

Cette hérabilité génotypique est déterminée sur des valeurs phénotypiques moyennes par provenance car la sélection des provenances n'est pas faite au niveau des parcelles mais sur la base de leurs moyennes toutes parcelles confondues. La formule est :

$$h^2_g = \sigma^2_G / (\sigma^2_G + \sigma^2_E/r)$$

L'hérabilité est estimée à partir de F qui est le rapport du carré moyen des traitements (ici provenance) CMp avec le carré moyen des résidus CMr. On a donc :

$$h^2_g = (CMp - CMr)/CMp$$

or $Fp = CMp/CMr$

$$\Rightarrow h^2_g = 1 - (1/Fp)$$

Plus la valeur de F de Fisher Snedecor calculé est forte, plus l'hérabilité génotypique est grande.

II.8.1.3 Calcul des gains

Le gain génotypique ΔG est le gain moyen que l'on pourrait obtenir en utilisant les meilleurs génotypes sélectionnés avec une certaine intensité de sélection dans les mêmes conditions que celui de l'essai. La différentielle de sélection en valeur métrique mesure l'écart entre la moyenne générale de la population et la moyenne des individus sélectionnés. Il indique le gain apparent ou gain phénotypique (ΔP). Le gain phénotypique ΔP est lui-même égal à la différentielle de sélection standardisée (i) multipliée par l'écart type phénotypique (σ_p) (Nanson, 1968) : $\Delta P = \sigma_p \times i$. On a estimé le gain phénotypique réel résultant des travaux de sélection effectués en valeur relative tel que :

$$\Delta P = (X_2 - X_1) * 100/X_1$$

X_1 : Moyenne avant sélection,

X_2 : Moyenne après sélection.

La différentielle de sélection réelle peut être estimée à partir de la relation :

$$i = \Delta P / CV_p$$

σ_p : Ecart type phénotypique de l'échantillon avant la sélection.

Pour le gain génotypique, on peut l'exprimer :

- soit en valeur métrique :

$$\Delta G = i * h^2_G * \sigma_p$$

- soit en valeur relative (%) :

$$\Delta G = i * h^2_G * CV_p$$

avec $CV_p = \sigma_p/X$ s'agit de coefficient de variation phénotypique et X = moyenne générale

Ce gain dépend de l'intensité de sélection i , de la variabilité de la population (CV_p) et de l'hérabilité des caractères. Par NANSON en 1974, la notion de gain génotypique conventionnel (ΔG_c) indique le gain obtenu par la sélection de 38% meilleurs génotypes. Cette sélection est équivalente à la valeur de i réduite par convention à 1.

$$\Delta G_c = h^2_G * V_p$$

Ce gain conventionnel permet d'évaluer théoriquement l'effet d'une sélection de même intensité sur diverses caractéristiques.

II.8.2 ANALYSE DE LA VARIANCE

Le but de l'analyse de la variance est de comparer les valeurs moyennes d'un certain nombre de population à partir d'échantillons aléatoires, simples et indépendants les uns des autres (Dagnelie, 1975). Autrement dit, l'analyse de variance permet de tester le niveau de signification du facteur étudié (provenance). Si l'effet provenance est significatif, on procède à la comparaison multiple des moyennes par la méthode de Newman-Keuls dans notre étude. Elle est basée sur la comparaison des amplitudes observées pour des groupes de deux, trois, ..., p moyennes, avec l'amplitude maximum attendue à un niveau de signification donné selon Keuls en 1952 et Newman en 1939 (cité par Dagnelie, 1975). Le modèle théorique de l'analyse de variance est strictement additif et s'écrit sous la forme :

$$X_{ij} = m_{..} + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Où X_{ij} = résultats de la i ème provenance dans le j ème bloc

$m_{..}$ = moyenne générale

α_i = composante de la i ème provenance

β_j = composante de la j ème bloc

ϵ_{ij} = composante résiduelle de la ij ème parcelle

Ce modèle est utilisé en supposant qu'il n'y a pas d'interactions entre les provenances et les parcelles à l'intérieur d'un bloc d'une part et entre les provenances et les blocs d'autres part.

Tableau n°12 : - Analyse de variance pour le cas de blocs complets équilibrés.

Source de variation	ddl	Carré moyen (CM)	F calculé	E (CM)
- Provenances	n-1	CMp = SCEp/(n-1)	Fp = CMp/CMr	$\sigma^2E + r*\sigma^2G$
- Blocs	r-1	CMb = SCEb/(r-1)	Fb = CMb/CMr	$\sigma^2E + n*\sigma^2B$
- Résidus	(n-1)(r-1)	CMr = SCEr/(n-1)(r-1)		σ^2E

n : nombre de provenances, r : nombre de blocs, ddl : degré de liberté, F calculé : variable F calculé de FISHER, SNEDECOR, E (CM) : espérance mathématique du carré moyen, σ^2G : Variance génotypique, σ^2E : variance environnementale, σ^2B : variance entre blocs

II.8.3 LE TEST DE KHI-2(χ^2)

Les caractères de floraison et de fructification ont été analysés par la statistique de Pearson χ^2 (test non paramétrique sur le tableau de contingence). Un tableau de contingence est une table ventilant une population selon deux caractères croisés l'un avec l'autre (Provenance - floraison et provenance - fructification). La démarche statistique consiste à tester l'hypothèse nulle suivant : "Le premier caractère est dépendant du deuxième". La valeur du χ^2 observée est calculée par :

$$\chi^2 = \sum_i \sum_j (n_{ij} - m_{ij})^2 / m_{ij}$$

où $m_{ij} = n_i \times n_j / n$

n_{ij} : fréquence observée pour la classe ij

n_i : total de fréquences observées pour la classe n_i

n_j : total de fréquences pour la classe n_j

La valeur critique pour un risque de 5% avec un degré de liberté de (r-1) * (k-1) est donnée par la loi de Pearson.

r = nombre de classe du première caractère

k = nombre de classe du deuxième caractère

II.8.4 ETUDE DES CORRELATIONS ENTRE LES CARACTERES

L'étude consiste à déterminer les liaisons existantes entre les différents caractères étudiés. La connaissance du degré de liaison par les coefficients de corrélation permet de connaître l'influence de l'amélioration d'un caractère sur un autre. Ces relations sont évaluées par les coefficients de corrélation phénotypique entre les valeurs phénotypiques des variables (valeurs individuelles) et concernent les variables contemporaines, c'est à dire mesurée à la même âge. La corrélation phénotypique résulte d'une corrélation génotypique et d'une corrélation environnementale de la même manière que la variance phénotypique :

$$\text{COV}(P_1, P_2) = \text{COV}((G_1 + E_1), (G_2 + E_2))$$

$$\text{COV}(P_1, P_2) = \text{COV}(G_1, G_2) + \text{COV}(E_1, E_2)$$

où P_1 et P_2 indiquent les valeurs phénotypiques des deux variables étudiées.

Sous le programme du logiciel SAS les résultats d'analyse de corrélation sont présentés sous forme matricielle. La formule pour l'estimation des coefficients de corrélation phénotypiques (r_p) entre chacun des couples de variables (x, y) est définie par :

$$r_p = \text{COV}_p(x, y) / \sqrt{\sigma_p^2(x) \times \sigma_p^2(y)} \quad \text{où } \text{COV}_p = \text{covariance phénotypique}$$

La corrélation phénotypique est en théorie toujours inférieure ou égale à la corrélation génotypique (Nanson, 1970). Le niveau de signification est obtenu à partir du test de conformité des coefficients de corrélation par comparaison des valeurs observées (r_p) avec les valeurs théoriques données par une table (Dagnelie, 1975).

r_p^* = significatif (risque de 5%)

r_p^{**} = hautement significatif (risque de 1%)

r_p^{***} = très hautement signification (risque de 1‰).

Troisième partie :
RESULTATS ET INTERPRETATIONS

III. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

III.1 RESULTATS DE L'ETUDE DE DEPENDANCE DES CARACTERES POIDS ET SURFACE TERRIERE POUR *L'ACACIA CRASSICARPA*

Les études ont été effectuées pour les deux sites : Mahela (essais n°109) et Ivoloina (Essai n°161). L'échantillon correspondant à l'essai de Mahela est composé d'environ 160 arbres issus des prélèvements lors d'une éclaircie effectuée en 1996 ou sur des arbres des parcelles de bordure prélevées pour notre étude sans considération de provenance. La circonférence et le poids de ces arbres ont été mesuré avant l'abattage et après l'abattage.

Parmi la circonférence au collet, la circonférence du plus gros brins et la somme des surfaces terrières des brins de chaque souche, c'est ce dernier caractère qui présente la meilleure corrélation avec le poids. Les paramètres estimés sont présentés dans le tableau n°13.

Tableau n°13 : - Les paramètres estimés pour l'essai n°109.

Variables	Paramètres estimés	Ecart type	SCE	Test F	Proba
Coefficient constant	-40.440	3.078	118771.560	172	0.0001
Coefficient de régression	0.574	0.009	2369027.437	3441	0.0001

D'où l'équation de régression suivante : $Pds = - 40.440 + 0.574 * G_{130}$

Ce modèle est caractérisé par une coefficient de détermination $R^2=0.95$ Il va être appliqué sur les deux essais de la station (n°109 et n°132) pour estimer le poids individuel des arbres inventoriés lors de notre mesure. Le graphe n°3 représente la courbe de régression correspondante.

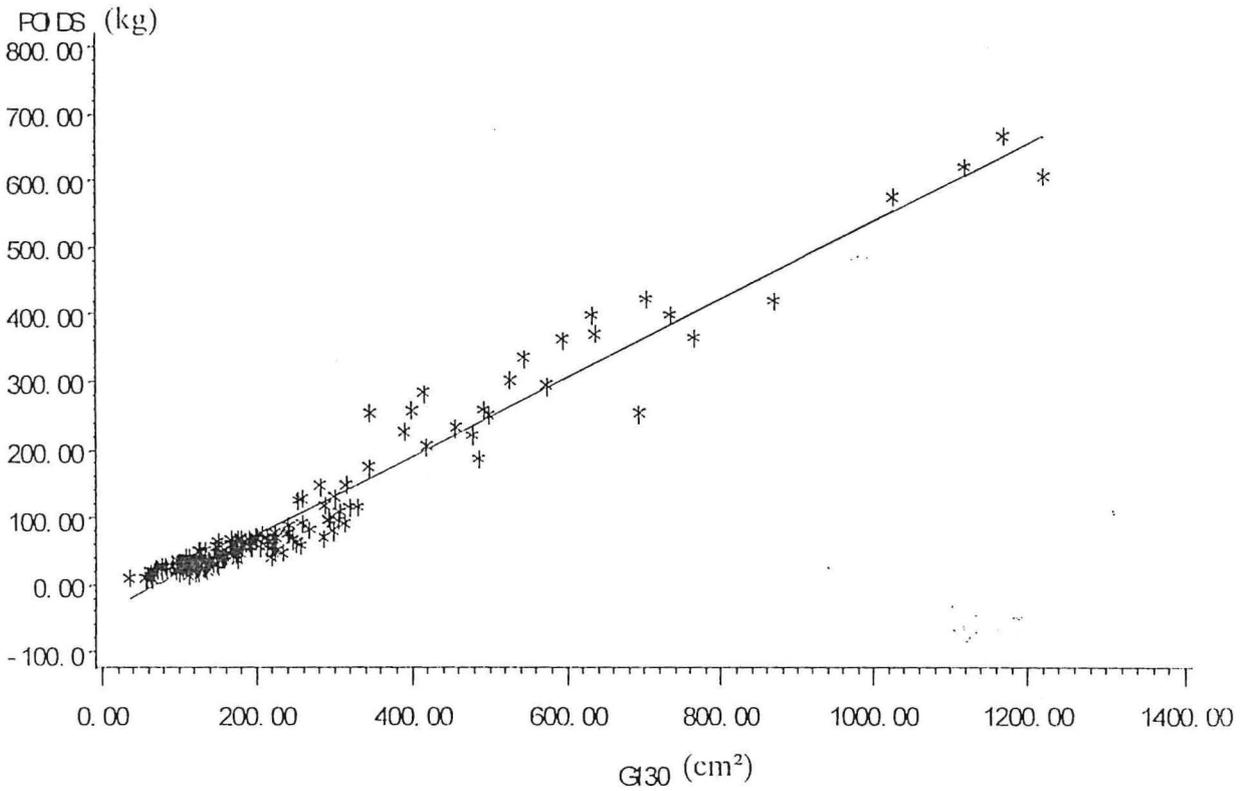
L'échantillon de l'essai d'Ivoloina est composé d'une trentaine d'arbres prélevés pour notre étude de façon au hasard. Les paramètres sont présentés dans le tableau n°14.

Tableau n°14 : Les paramètres estimés pour l'essai n°161.

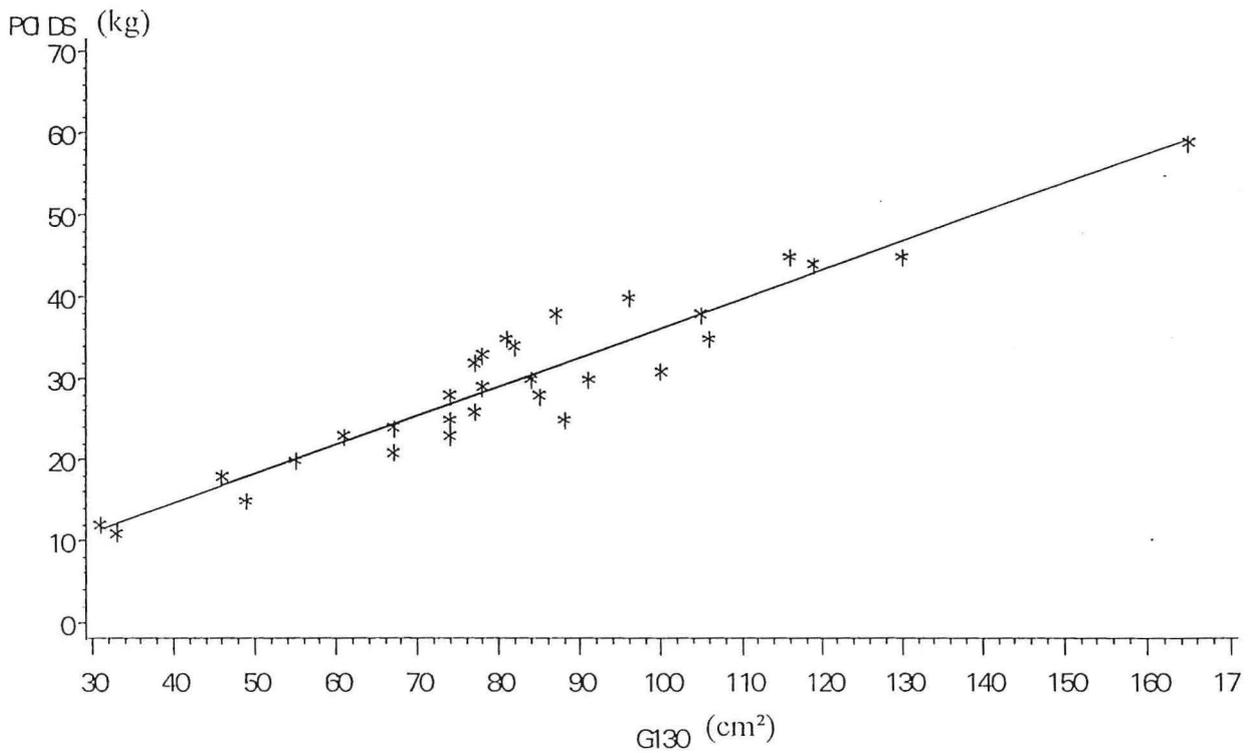
Variables	Paramètres estimés	Ecart type	SCE	Test F	Proba
Coefficient constant	0.362	1.955	0.395	0.03	0.854
Coefficient de régression	0.357	0.022	2916.639	253.57	0.0001

D'où l'équation de régression suivante : $Pds = 0.362 + 0.357 * G_{130}$

Le coefficient de détermination pour ce modèle est de $R^2=0.90$, la courbe de régression est présentée dans le graphe n°4.



Graph n°3 : Droite de régression du poids en fonction de la surface terrière des essais n°109 et n°132.



Graph n°4 : - Droite de régression du poids en fonction de la surface terrière pour l'essai n°161.

III.2 RESULTATS D'ANALYSE

III.2.1 ESSAI N°109 MAHELA

Les données relatives à ces résultats ont été recueillies régulièrement depuis 1993 jusqu'en 1998 ce qui correspond à 14, 25, 36, 49, 61 mois après la plantation. Les caractéristiques et le plan de l'essai sont présentés en annexe 2.

III.2.1.1 Caractéristiques de croissance

Pour ce groupe de caractères, notre étude portera sur les variables hauteur et surface terrière qui ont été directement mesurées sur terrain plutôt que sur les autres caractères dérivés qui sont liés notamment à la surface terrière.

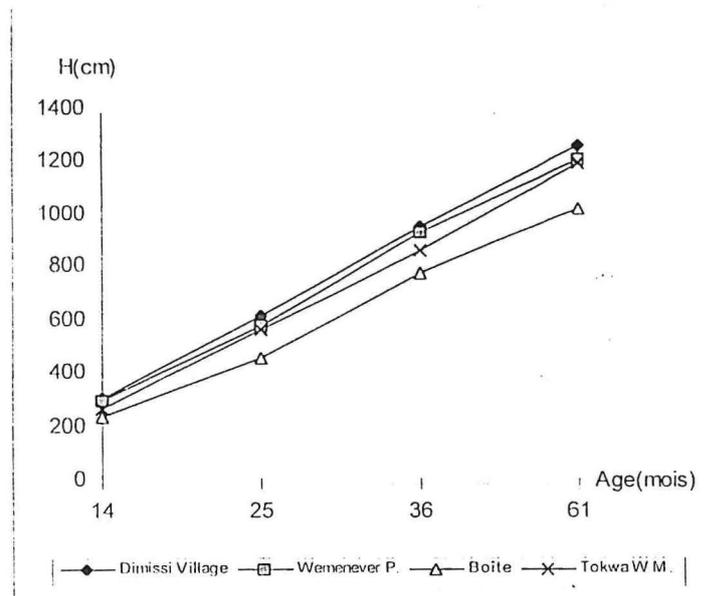
Pour la hauteur, l'essai reste relativement précis avec un coefficient de variation résiduel variant de 7.7 à 9%.

Tableau n°15 : Résultats d'analyse de l'essai n°109 - Hauteur totale

Provenances	Rg	H14	CV	Rg	H25	CV	Rg	H36	CV	Rg	H61	ΔH	CV
7 km Daintree	4	310 ^{ab}	13	6	585 ^a	10	8	869 ^{bc}	12	8	1134 ^{bcd}	263	10
Wemenever	6	307 ^{ab}	14	5	593 ^a	11	4	939 ^{ab}	9	6	1215 ^{abc}	250	10
Mata	5	310 ^{ab}	14	4	606 ^a	12	3	945 ^{ab}	8	4	1231 ^{abc}	250	10
Woroi Wimpi	9	257 ^d	18	7	581 ^a	11	6	914 ^{ab}	11	3	1272 ^{ab}	242	6
Boite	10	253 ^d	21	10	468 ^b	18	10	785 ^d	11	10	1026 ^d	239	7
10 km S Musgraves	8	277 ^{cd}	17	9	483 ^b	19	9	802 ^{cd}	12	9	1090 ^{cd}	239	13
SE Townsville	3	311 ^{ab}	17	1	627 ^a	12	1	978 ^a	7	5	1217 ^{abc}	236	8
Dimissi village	1	320 ^a	17	2	616 ^a	13	2	963 ^{ab}	10	2	1275 ^{ab}	223	11
Mai Kussa River	2	318 ^a	14	3	606 ^a	15	5	921 ^{ab}	17	1	1337 ^a	214	6
Tokwa W Morehead	14	284 ^{bc}	18	8	572 ^a	12	7	873 ^{bc}	10	7	1200 ^{abc}	201	9
X		266.7	16		574.2	14		899	12		1199	236	9
CVP		9.3			9.4			7.2			8.09		
h²G		0.91			0.92			0.88			0.85		
ΔGc		8.46			8.64			6.33			6.87		
ddl		9			9			9			9		
Test F		11.97			13.02			8.53			6.78		
Proba		0.001			0.001			0.001			0.0001		

Hxx : Hauteur moyenne par provenance à xx mois exprimé en cm, ΔGc : Gain génotypique conventionnel, ΔHxx : accroissement moyen annuel de chaque provenance à xx mois, ddl : degré de liberté, CV : coefficient de variation intraprovenance pour chaque caractère, Test F : test de Fisher- Snedecor, Rg : Rang des provenances selon un ordre décroissant, Proba : Probabilité ou seuil de signification du test, X : moyenne générale, CVP : coefficient de variation phénotypique intertraitement, h²G : hérabilité génotypique

Le classement des provenances permet de distinguer deux groupes homogènes significativement différents, mais la subdivision n'est nette qu'au stade jeune (14 et 25 mois). Ce classement montre l'infériorité des provenances Boites et Musgraves avec des moyennes respectivement 10,3 m et 10,9 m à 61 mois alors que les meilleurs atteignent les 13 m de hauteur (Mai Kussa River et Dimissi Village).



Graph 5 : Courbe de croissance en hauteur de quelques provenances

La hauteur est caractérisée par une variabilité intraprovenance faible telle que le coefficient de variation phénotypique intraprovenance varie en moyenne de 9 à 16% avec une tendance à diminuer avec l'âge. Ce caractère ne semble pas indiqué pour les sélections intraprovenances surtout au stade adulte. Le coefficient de variation phénotypique interprovenance est aussi faible variant de 7 à 9% ce qui montre une variabilité moins importante. Cela nous permet de dire que la sélection interprovenance n'est pas très bénéfique au niveaux de ce caractère.

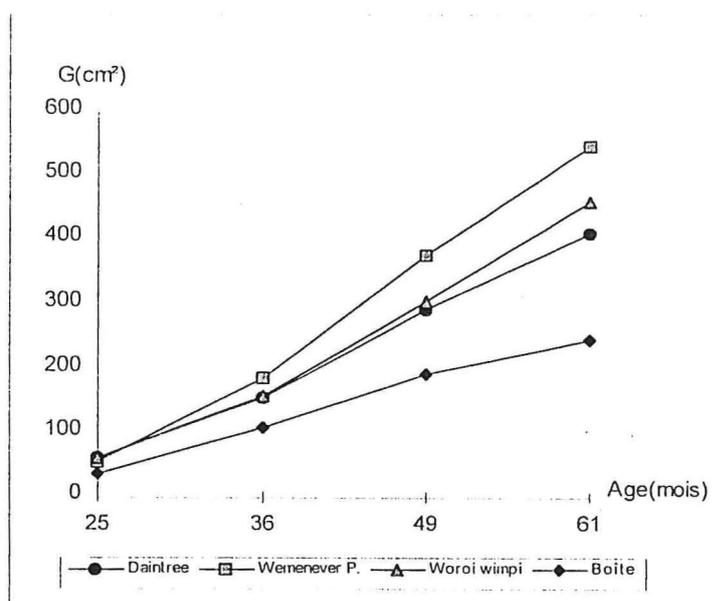
Cependant, l'héritabilité génotypique hautement significatif observée sur ce caractère (0.85 à 0.90) montre que la variabilité est largement liée aux traitements, c'est à dire aux génotypes. Ce n'est donc pas un caractère à négliger lors des travaux d'amélioration même si le gain qu'on pourrait obtenir n'est pas très important comme l'indique les valeurs de gain génotypique conventionnel, ici variant de 6 à 9%.

En ce qui concerne la surface terrière (tableau n°16), l'essai devient moins précis avec des coefficients de variation résiduels assez élevés variant de 23.4 à 30,5%.

Le classement des provenances pour ce caractère permet de distinguer nettement deux groupes homogènes significativement différents. Il met aussi en évidence les performances plus faibles des provenances Boites et Musgraves avec des valeurs moyennes à 61 mois de 5,4 et 6m² à l'hectare. Ces valeurs représentent à peine la moitié d celles du groupe des meilleures provenances variant de 10m²/ha pour Daintree jusqu'à 15m²/ ha pour Wemenever Provenance et Mai Kussa River. Ce classement semble être stable tout au long des inventaires mais la subdivision en deux groupes n'est nette qu'à partir du 36 ème mois et le classement intragroupe évolue légèrement. Ces modifications traduisent l'effet des éclaircies sur le comportement des provenances. En effet, à l'intérieur d'un même groupe, il peut y avoir des provenances qui semblent être de qualité moyenne au début mais au fur et à mesure des éclaircies, elles deviennent meilleures (Mai Kussa River et Wemenever).

Tableau n°16 : Résultats d'analyse de l'essai n°109 - Surface terrière (m²/ha)

N°	Rg	G14	CV	Rg	G25	CV	Rg	G36	CV	Rg	G49	CV	Rg	G61	ΔG	CV
1	1	10.5 ^a	60	1	6.9 ^a	17	3	7.7 ^{ab}	25	8	7.1 ^a	17	8	10.1 ^a	107	26
2	3	5.7 ^b	81	3	5.3 ^{bc}	26	4	7.7 ^{ab}	37	1	9.3 ^a	24	1	13.5 ^a	102	29
3	7	4.6 ^b	59	7	4.4 ^{bc}	22	6	7.4 ^{ab}	23	4	8.3 ^a	24	3	12.7 ^a	101	32
5	5	5.2 ^b	71	6	4.6 ^{bc}	24	8	6 ^{ab}	30	7	7.5 ^a	22	7	11.3 ^a	101	29
6	9	4.3 ^b	90	9	4.1 ^c	24	9	5.3 ^b	31	9	4.7 ^b	33	9	6.1 ^b	101	40
7	10	4.1 ^b	82	10	4.0 ^c	24	10	5.3 ^b	31	10	4.2 ^b	36	10	5.4 ^b	97	37
8	6	5.1 ^b	71	4	5.2 ^{bc}	23	2	8.1 ^{ab}	25	3	8.4 ^a	19	5	12.2 ^a	90	29
12	2	6.6 ^b	97	2	5.7 ^b	23	5	7.5 ^{ab}	27	5	8.2 ^a	19	4	12.7 ^a	80	29
13	8	4.5 ^b	77	8	4.3 ^{bc}	28	7	6.2 ^{ab}	31	6	8.2 ^a	22	6	15.0 ^a	48	31
14	4	5.6 ^b	75	5	4.8 ^{bc}	22	1	8.7 ^a	26	2	8.7 ^a	18	2	12.8 ^a	43	26
X		5.7	39		4.9	23		7.03	28		7.5	23		10.9	87	23
CVP		32.6			18.2			16.9			22.4			26.2		
h ² G		0.84			0.81			0.68			0.86			0.91		
ΔGc		27.38			14.7			11.5			19.2			23.84		
ddl		9			9			9			9			9		
Test F		6.45			5.47			3.21			7.24			11.5		
Proba		0.0001			0.0001			0.002			0.0001			0.0001		



Graphique n°6 : Courbe de croissance en surface terrière de quelques provenances

La surface terrière présente par contre une variabilité importante que ce soit inter ou intraprovenance. Le coefficient de variation intraprovenances est très élevé avec des valeurs allant de 60 à 90% au stade jeune et de 26 à 40% pour notre dernière mesure. Le coefficient de variation phénotypique interprovenance est aussi élevé avec une valeur de 26,2% permettant d'espérer une bonne efficacité de la sélection au niveau de ce caractère.

L'héritabilité génotypique est relativement élevée variant de 0,84 et 91% plus importante que celle observée sur la hauteur. La variabilité importante observée au niveau de ce caractère est donc liée au génotype et les gains obtenus lors des sélections au niveau de ce caractère devraient être plus importants. En effet, en sélectionnant les 38% meilleur on peut s'attendre à un gain génotypique de l'ordre de 23%.

Pour le caractère poids, on a estimé les valeurs à partir du 36 ème mois. Les résultats sont présentés dans le tableau n°17.

Tableau n°17 : Résultats d'analyse de l'essai n°109 - Poids (t/ha)

N°	Provenances	Rg	P36	CV	Rg	P49	CV	Rg	P61	CV
1	7 km Daintree	6	24.2 ^{ab}	43	8	31.3 ^a	22	8	48.2 ^a	21
2	Wemenever	3	27.4 ^a	49	1	43.5 ^a	29	1	67.6 ^a	17
3	Mata	5	24.4 ^{ab}	37	5	37.8 ^a	29	3	63.3 ^a	25
5	Woroi Wimpi	8	18.3 ^{ab}	47	7	33.4 ^a	29	7	55.2 ^a	22
6	Boite	9	11.1 ^{bac}	54	9	17.3 ^b	50	9	25.1 ^b	23
7	10 km S Musgraves	10	10.7 ^{bac}	53	10	14.6 ^b	46	10	21.4 ^b	20
8	SE Townsville	2	27.7 ^a	40	3	38.3 ^a	25	5	60.2 ^a	48
12	Dimissi village	4	25.4 ^{ab}	43	6	37.4 ^a	24	4	63.1 ^a	26
13	Mai Kussa River	7	19.1 ^{ab}	48	4	37.9 ^a	26	6	59.7 ^a	46
14	Tokwa W Morehead	1	30.2 ^a	42	2	40.3 ^a	23	2	64.0 ^a	26
	X		21.8	45		33.2	30		52.8	27
	CVP		31.3			29.1			31.2	
	h²G		0.74			0.86			0.91	
	ΔGe		23.1			25			28.4	
	ddl		9			9			9	
	Test F		3.93			7.44			11.72	
	Proba		0.0003			0.0001			0.0001	

Le classement des provenances est inchangé par rapport à celui obtenu pour la surface terrière tel que les provenances Musgraves et Boite se trouvent en fin de classement avec une production respectivement de 25 et 21 tonne par hectare à l'âge de 61 mois alors que les provenances les plus performantes atteignent plus de 60 tonnes par hectare au même âge (Wemenever, Tokwa W Morehead et Dimissi village). La variabilité est très importante que ce soit à l'intérieur ou entre les provenances. L'héritabilité génotypique est forte, allant de 0.74 à 0.91.

De même pour le volume, le classement des moyennes ne change pas trop de celui observé sur la surface terrière et le poids. La subdivision à l'intérieur des groupes homogènes est moins nette. La production varie en moyenne du 5 et 6m³/ha/an pour les provenances les plus faibles (Boite et Musgraves) jusqu'à plus de 14m³/ha/an pour les meilleures (Wemenever, Mata, Dimissi Village et Mai Kussa River). Ce caractère présente aussi une variabilité importante et une héritabilité génotypique assez élevée (h²G = 0.88).

L'observation de l'origine géographique des différentes provenances (*figure n°3*) peut nous donner des explications sur les facteurs contrôlant l'adaptation et les performances des provenances. Compte tenu de la forte pluviosité de la station de Mahela (0 à 1 mois écoséc et une pluviométrie de 2300 mm), ce sont les provenances issues des zones à forte pluviométrie qui semblent être les plus adaptées. Les provenances originaires de Papouasie Nouvelle Guinée sont généralement plus performantes.

Tableau n°18 : Résultats d'analyse de l'essai n°109 - Volume (m³/ha)

N°	Provenances	CI	V61	$\Delta V61$	CV
1	7 km Daintree	8	45.3 ^{bc}	8.9 ^{bc}	34
2	Wemenever	4	67 ^{ab}	13 ^{ab}	31
3	Mata	3	71 ^{ab}	14 ^{ab}	33
5	Woroi Wimpi	6	61 ^{ab}	12 ^{ab}	32
6	Boite	9	29.7 ^{cd}	5.8 ^{cd}	30
7	10 km S Musgraves	10	23.1 ^d	4.5 ^d	68
8	SE Townsville	7	60 ^{ab}	11.8 ^{ab}	29
12	Dimissi village	1	74.8 ^a	14.7 ^a	27
13	Mai Kussa River	2	72 ^{ab}	14.2 ^{ab}	33
14	Tokwa W Morehead	5	63 ^{ab}	12.4 ^{ab}	26
	X		56.7	11.2	34
	CV_r		101	97	
	h²G		0.88	0.88	
	ΔGc		88	85	
	ddl		9	9	
	Test F		8.56	8.56	
	Proba		0.0001	0.0001	

III.2.1.2 Caractéristiques de forme

Ces caractères ont été spécifiques pour le dernier inventaire effectué à 61 mois (5 ans) et les résultats sont présentés dans le tableau n°20.

Les coefficients de variation résiduels sont très élevés pour ce groupe de caractère, respectivement égaux à 28.2%, 84% et 71% pour le nombre de brins, la rectitude et la fourchaison. Cela indique la manque de précision des variables qui sont toutes estimées à partir de cotations arbitraires.

On n'observe pas de différences significatives entre les provenances pour la fourchaison. Les arbres présentent en moyenne 35% de brins fourchus. Pour le nombre de brins la subdivision en groupe homogène n'est pas très nette et varie de 2 à 3 brins par arbres. La variabilité interprovenance est faible pour le nombre de brins et la fourchaison avec des valeurs de coefficient de variation phénotypique respectivement égaux à 13.2% et 19.2%. Cette variabilité faible ne permet d'espérer que des gains conventionnels faibles de l'ordre de 7% pour ces deux caractères. De plus l'héritabilité est aussi faible pour le nombre de brins ($h^2G = 0.54$) et même très faible pour la fourchaison ($h^2G = 0.38$).

Pour la rectitude, le classement des moyennes par provenance permet de distinguer au moins deux groupes homogènes significativement différents : dans le premier rang, on a les provenances Townsville, Woroi Wimpi, Mai Kussa River et Tokwa of Morehead avec une proportion moyenne de brins droits supérieure à 35 %. Ce caractère présente une variabilité assez importante avec un coefficient de variation phénotypique assez élevé de l'ordre de 45% aussi bien inter qu'intraprovenance. L'héritabilité pour ce caractère est plus élevée. Il faut noter que la variabilité intra provenance très élevée peut être intéressante par le fait qu'elle permet une sélection efficace sur la forme d'autant que ce caractère est positivement corrélé avec ceux de la croissance. Pour le cas présent, cette liaison n'est pas évidente car le classement des moyennes ne se recoupe pas avec celui des variables de croissance ou même avec celui des autres variables de forme. Le taux de fourchaison, comme le précédant ne modifie pas la production en biomasse qui est le principal objectif. Mais par contre le nombre de brin est significativement corrélé avec la surface terrière.

Tableau n°19 : Résultats d'analyse de l'essai n°109 - Caractéristiques du forme

N°	Provenances	Rg	NB	CV	Rg	PBF	CV	Rg	BD	CV
1	7 km Daintree	1	2.9 ^a	26	8	32	75	6	26 ^{ab}	64
2	Wemenever	6	2.5 ^{ab}	44	7	32	113	7	23 ^{ab}	114
3	Mata	8	2.2 ^{ab}	42	3	36	88	9	17 ^{ab}	81
5	Woroi Wimpi	5	2.7 ^{ab}	31	5	33	97	2	41 ^a	66
6	Boite	2	2.9 ^{ab}	37	1	52	56	8	20 ^{ab}	91
7	10 km S Musgraves	10	1.9 ^b	36	9	29	114	10	2 ^b	529
8	SE Townsville	3	2.7 ^{ab}	38	6	33	84	1	44 ^a	53
12	Dimissi village	7	2.3 ^{ab}	41	2	37	107	5	33 ^a	64
13	Mai Kussa River	9	2.2 ^{ab}	42	10	28	109	4	35 ^a	92
14	Tokwa W Morehead	4	2.7 ^{ab}	32	4	35	82	3	35 ^a	61
	X		2.5			35.1			27.8	
	CV_r		13.2			19.2			45	
	h²G		0.54			0.38			0.65	
	ΔGc		7.1			7.3			29.2	
	ddl		9			9			9	
	Test F		2.19			0.72			2.89	
	Proba		0.031			0.685			0.005	

III.2.1.3 Corrélation entre les caractères

Il s'agit ici des corrélations phénotypiques entre les variables elle-même à des âges différents, et entre les différents caractères mesurés au même âge.

Tableau n°20 : - Matrice de corrélation sur les hauteurs

	H14	H25	H36
H14	1.000		
H25	0.271***	1.000	
H36	0.149**	0.059	1.000

Tableau n°21 : - Matrice de corrélation sur les surfaces terrières à différents âges

	G14	G25	G36	G49	G61
G14	1.000				
G25	0.012	1.000			
G36	-0.099	-0.003	1.000		
G49	-0.040	0.106	0.072	1.000	
G61	-0.035	0.118	0.044	0.959***	1.000

r_p***: valeurs significative selon le test de signification de coefficient de corrélation de Pearson.

La corrélation est forte ($r_p = 0.95^{***}$) pour la surface terrière entre 49 et 61 mois. Les sélections effectuées dans l'essai ont donc modifié la croissance en surface terrière et la considération de ce caractère lors des éclaircies peut changer le comportement de chaque traitement. Il est difficile de prédire le comportement des arbres dès leur jeune âge en ce qui concerne la croissance en surface terrière. Pour la hauteur, les coefficients de corrélations sont positifs et significatifs.

Concernant les corrélations entre différents caractères au dernier inventaire, la corrélation entre les caractéristiques de forme et celles de croissance n'est significative qu'entre la surface terrière et le nombre de brins. Les caractéristiques de croissance sont

positivement corrélées entre elles (peu significativement). Le nombre de brins est négativement corrélé avec la proportion des brins fourchus et positivement avec le pourcentage de brins droits. Entre deux arbres de surface terrière équivalente, on a donc intérêt à choisir celui qui a le plus grand nombre de brins, cela permet d'avoir un arbre avec plus de brins droits et moins fourchus ce qui diminue le risque de chablis en cas du vent violent.

Tableau n°22 : Matrice de corrélation entre les différents caractères

	H61	G61	NB61	PF61	BD
H61	1.000				
G61	0.128	1.000			
NB61	0.105	0.374***	1.000		
PF61	-0.032	-0.195**	-0.305***	1.000	
BD	-0.101	0.117	0.291***	-0.415***	1.000

r_p***: valeurs significative selon le test de signification de coefficient de corrélation de Pearson.

III.2.1.4 Caractéristiques de floraison et de fructification

L'analyse de ces deux caractères est présentée dans le tableau n°23. Le test d'indépendance des caractères avec les traitements (ici provenance) effectué pour cet essai n'est significatif ni pour la floraison ($\chi^2 = 6.8NS$), ni pour la fructification ($\chi^2 = 5.9NS$). En outre la validité du test utilisé ici est biaisé par l'absence de normalité de la distribution des données. Cependant, le taux moyen de floraison (Fl) ainsi que celui de la fructification pour chaque traitement est respectivement 89% et 78%. Ces chiffres sont très intéressants et répondent bien à la production des graines par panmixie au sein du verger. Le taux de fructification suffisamment élevé montre que la majorité des provenances fructifient bien à l'âge de 4 ans, la récolte de graines peut être effectuée.

Tableau n°23 : Résultats d'analyse de l'essai n°109 - Floraison et fructification

N°	Provenances	Fl	Fr
1	7 km Daintree	90	65
2	Wemenever	90	80
3	Mata	95	75
5	Woroi Wimpi	80	70
6	Boite	100	80
7	10 km S Musgraves	90	85
8	SE Townsville	80	75
12	Dimissi village	90	85
13	Mai Kussa River	90	75
14	Tokwa W Morehead	90	90
	X	89.5	78
	ddl	9	9
	Test χ^2	6.8	5.9
	Proba	0.651	0.746

Fl Pourcentage des arbres en fleur par provenance,
Fr Pourcentage des arbres présentant des fruits par provenance

III.2.1.5 Etude du gain

Les gains calculés dans cette partie correspondent à ceux qui sont apportés sur les caractères de croissance, qui sont les plus importants vis à vis de l'objectif de production de

biomasse.

L'estimation des gains phénotypiques présentée dans le tableau n°24 résultant des sélections intraprovenances met en évidence l'intensité de celles-ci en considérant les différents caractères. Cette intensité est ici indiquée par la valeur de la différentielle de sélection (i). Cet index correspond à une proportion d'individus ou provenances sélectionnés donnée par une table établie par NANSON en 1970. La connaissance du taux de sélection pour chaque caractère permettra ainsi d'identifier le caractère à considérer lors des travaux de sélection.

Tableau n°24 : Analyse du gain génotypique pour l'essai n°109

Traitements	entre 25 et 36 mois				entre 36 et 49 mois					
	ΔPH	ih	ΔPG	ig	ΔPH	ih	ΔPG	ig	ΔPP	ip
7 km Daintree	2.1	0.19	14.08	0.37	3.7	0.30	9.97	0.29	21.3	0.24
Wemenever	1.9	0.16	11.06	0.25	2.2	0.24	10.90	0.31	18.1	0.36
Mata	3.7	0.31	13.07	0.39	-0.7	-0.07	15.00	0.44	26.3	0.51
Woroi Wimpi	1.2	0.10	9.09	0.20	2.6	0.23	17.02	0.47	32.3	0.52
Boite	8.9	0.48	31.28	0.56	4.4	0.37	15.22	0.39	41.9	0.41
10 km S Musgraves	6.6	0.33	25.49	0.44	8.3	0.64	7.45	0.58	21.3	0.19
SE Townsville	4.1	0.32	15.56	0.36	3.9	0.51	8.71	0.27	14.6	0.27
Dimissi village	6.7	0.49	19.23	0.44	5	0.47	11.04	0.27	18.8	0.25
Mai Kussa River	2.7	0.17	18.69	0.39	7.6	0.43	15.03	0.29	28.4	0.32
Tokwa W Morehead	4.1	0.31	22.96	0.42	1.5	0.14	7.34	0.20	12.2	0.21
ΔP	4.78		18.48		4.20		12.02		22.26	
ΔG	4.39		15.15		3.76		9.25		17.14	
i	0.5		1.02		0.58		0.66		0.70	

ih, ig, ip : différentielle de sélection i respectivement relatif au caractère H, G et P.

Les gains apportés par la sélection intraparcellaire effectuée en 1995 avec un taux de 55% sont respectivement de 4.8% et 18.5% pour la hauteur et la surface terrière. Ces gains sont équivalents à une sélection interprovenance conservant les 70% meilleurs ($i=0.5$) en considérant la hauteur et 38% en considérant ($i=1.02$) la surface terrière. Le gain génotypique atteint 4.4 et 15.1% respectivement pour la hauteur et surface terrière. La sélection a été plus sévère pour la surface terrière.

Pour la deuxième éclaircie, avec un taux de 50%, les gains apportés sont relativement faible par rapport à la première mais ils restent élevés pour la surface terrière et le poids avec des valeurs respectivement de 9.2% et 17,1%.

Le taux de sélection est variable selon les provenances en considérant la surface terrière et la hauteur. Les gains les plus importants sont observés sur les provenances les plus faibles comme Boite $\Delta P = 31.28\%$ et Musgraves $\Delta P = 25.5\%$ et les plus performants comme Tokwa W Morehead $\Delta P = 22.9\%$, Dimissi village $\Delta P = 19.2\%$ et Mai Kussa River $\Delta P = 18.7\%$. Pour la majorité des provenances, la sélection a été plus sévère sur la surface terrière.

III.2.1.6 Productivité de l'essai

L'estimation de la production du peuplement doit tenir compte aussi les individus éliminés par éclaircie mais le modèle utilisé pour l'estimation du poids individuel des arbres de l'essai n'a pas permis d'introduire les produits de première éclaircie (les premières éclaircies sont intervenues très tôt ce qui doit représenter un volume relativement faible). Les

valeurs présentées dans le tableau suivant correspond donc à des estimations minimales.

Pour le volume, les valeurs présentées ici ne considèrent que le peuplement restant sur pieds lors de la dernière mesure c'est à dire à 61 mois (246 pieds à l'hectare). A cette faible densité, on peut avoir une production variant de 4 à 14m³/ha/an.

Tableau n°25 : Productivité du peuplement de l'essai n°109

PRODUCTION	AGE (mois)			
	25	36	49	61
- Densité (pieds/ha)	1111	493	246	246
- Surface terrière (m ² /ha)	5	9	12	15
Poids				
- Production(t/ha)		22	40	60
- Productivité (t/ha/an)		7.2	10	12
Volume				
- production (m ³ /ha)				56*
- productivité (m ³ /ha/an)				11*

* estimation pour les arbres restantes sur pieds

CONCLUSION PARTIELLE SUR L'ESSAI N°109

Les résultats d'analyses effectués sur l'essai n°109 situé à Mahela permettent de dire que les provenances sont significativement différentes aux niveaux des caractères de croissance. Des groupes homogènes ont été nettement identifiés tels que tous les classements ont mis en évidence le comportement moyen des provenances australiennes notamment Boite et Musgraves.

La variabilité importante inter et intraprovenance et l'héritabilité généralement élevée sur ces caractères devraient permettre donc d'apporter un certain gain en matière de production pour les variétés issues de ces vergers. Pour les caractères de forme, les résultats d'analyse montrent que ces caractères ne sont pas très liés aux génotypes mais plutôt avec l'environnement. L'amélioration au niveau de ces caractères n'apporte pas grande chose.

La proportion importante d'arbres en floraison relevée par le dernier inventaire toutes provenances confondues, permet de conclure que le verger est rentré dans sa phase de production et laisse supposer que la reproduction se rapproche de la panmixie.

III.2.2 ESSAI N°132 MAHELA

Les données relatives à cet essai ont été recueillies depuis 1996 ce qui correspond aux inventaires effectués à l'âge de 13, 29, et 40 mois. Cet essai a été installé dans le but d'améliorer l'échantillonnage de cette espèce en introduisant un nombre plus important de provenances par rapport à l'essai n°109 installé précédemment

III.2.2.1 Caractéristiques de croissance

Pour ce groupe de caractère, notre étude portera principalement sur les variables hauteur et surface terrière plutôt que sur les autres variables dérivés notamment le poids et le volume. Le tableau suivant présente les résultats d'analyse relatifs au caractère hauteur pour tous les âges de mesures.

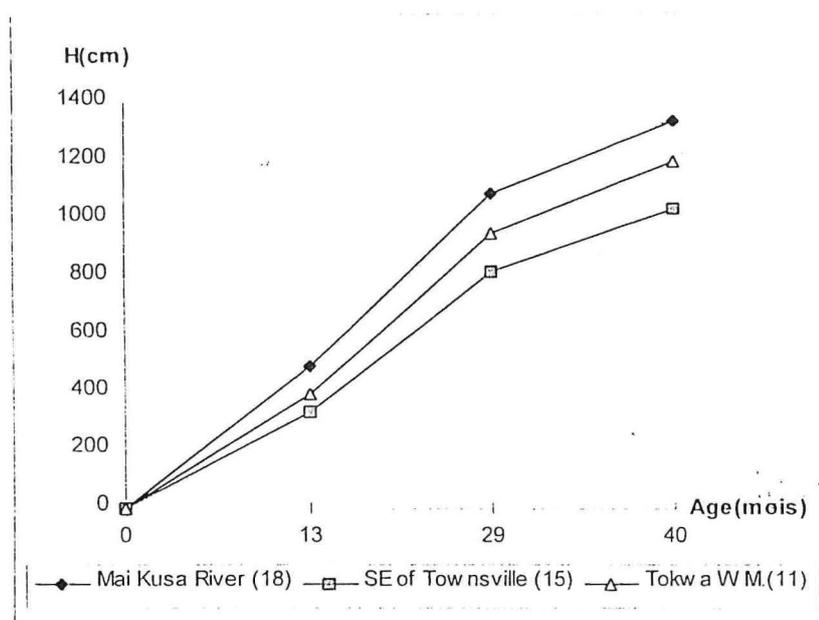
Tableau n°26 : Résultats d'analyse de l'essai n°132 - Hauteur totale

N°	Provenances	Rg	H13	CV	Rg	H29	CV	Rg	H40	ΔH	CV
1	Woroi Wimpi	10	456.3 ^a	14	2	1082 ^a	8	4	1329 ^a	398	7
2	Shotceel LA	19	335.5 ^c	21	18	864 ^c	12	19	1084 ^{bc}	325	10
3	10 km S of Musgraves	18	344.0 ^c	22	19	858 ^c	14	18	1092 ^{bc}	327	13
4	Oriomo river	5	475.7 ^a	8	10	1041 ^{ab}	7	3	1331 ^a	399	7
5	Bimadebum village	14	448.7 ^a	12	11	1036 ^{ab}	7	9	1301 ^a	390	8
6	Pongaki E of Morehead	11	456.2 ^a	11	12	1027 ^{ab}	15	1	1332 ^a	399	10
7	Dimissi village	13	453.9 ^a	11	6	1048 ^{ab}	13	7	1319 ^a	395	7
8	Dediredi	6	475.6 ^a	9	5	1051 ^{ab}	10	8	1306 ^a	391	10
9	Western Province	3	478.4 ^a	10	4	1070 ^a	8	14	1286 ^a	385	10
10	Mai Kussa River	12	454.1 ^a	13	15	982 ^{ab}	11	15	1255 ^a	376	14
11	Tokwa W Morehead	17	390.5 ^b	22	17	942 ^b	12	17	1194 ^{ab}	358	9
12	SE of Townsville	16	401.6 ^b	24	16	977 ^{ab}	13	16	1253 ^a	375	15
13	Boite	15	440.2 ^a	16	8	1044 ^{ab}	14	12	1295 ^a	388	10
14	Wemenever province	9	460.7 ^a	10	7	1045 ^{ab}	8	11	1295 ^a	388	10
15	SE of Townsville	20	333.8 ^c	21	20	813 ^c	10	20	1027 ^{bc}	308	11
16	Gubam village	2	486.9 ^a	15	3	1070 ^a	12	6	1320 ^a	396	6
17	Bimadebum village	7	468.0 ^a	8	13	1020 ^{ab}	9	13	1293 ^a	387	8
18	Mai Kussa river	1	489.5 ^a	9	1	1083 ^a	9	2	1332 ^a	399	11
19	Konifok to Serisa	4	475.8 ^a	10	14	1015 ^{ab}	6	10	1300 ^a	390	6
20	Dimissi village	8	465.0 ^a	10	9	1043 ^{ab}	8	5	1321 ^a	396	9
	X		439.3	14	14	1005.8	10		1262.9	378	10
	CVP		11.8			7.6			7.2		
	h²G		0.94			0.90			0.84		
	ΔGc		10.7			6.8			6.04		
	ddl		19			19			19		
	Test F		19.6			10.87			6.4		
	Proba		0.0001			0.0001			0.0001		

Pour cet essai, la hauteur est caractérisée par un coefficient de variation résiduel assez faible variant de 7,3% à 9,4% ce qui traduit une bonne précision de l'essai.

Le classement des moyennes par provenance permet de distinguer nettement deux groupes de provenances significativement différents. Ce classement est conservé jusqu'au dernier inventaire, mais cela n'empêche de petites modifications à l'intérieur de chaque

groupe. Chaque provenance a presque la même réaction aux éclaircies en ce qui concerne la croissance en hauteur comme le montre l'allure régulière de la courbe de croissance dans le graphe n°8.



Graphique n°7 : courbe de croissance en hauteur des provenances testées dans l'essai n°132

Comme dans l'essai n°109 les provenances d'Australie constituent toujours le groupe le plus faible, la provenance SE of Townsville reste la provenance la plus mauvaise avec une moyenne de 10,3 m à 40 mois, suivie par Shoteel La et Musgraves avec des valeurs moyennes respectives de 10,8 m et 10,9 m. Les meilleures sont représentées par Mai Kusa River et Pongaki of Morehead avec une valeur moyenne plus de 1300 cm. Il faut mentionner ici que la provenance Boite est mieux classée dans cet essai par rapport au n°109. Musgraves se distingue moins par rapport aux autres. Cela nous amène à penser que les conditions de ces deux essais ne sont pas identiques même s'ils se trouvent sur la même station. La variabilité est peu importante dans l'ensemble que ce soit inter ou intraprovenances. Les coefficients de variation intra sont plus élevés pour les provenances moyennes de 7 à 15% d'une provenance à une autre. Par contre, la valeur assez forte de l'héritabilité génotypique ($h^2g = 0.84$ à 0.94) confirme que la variabilité observée sur ce caractère est liée à la génotype. Le gain génotypique conventionnel n'est pas très important.

En ce qui concerne la surface terrière et ces paramètres dérivés, l'essai semble un peu moins précis avec un coefficient résiduel variant de 16.9% à 21.4% pour la surface terrière et s'élève jusqu'à 26% pour le volume.

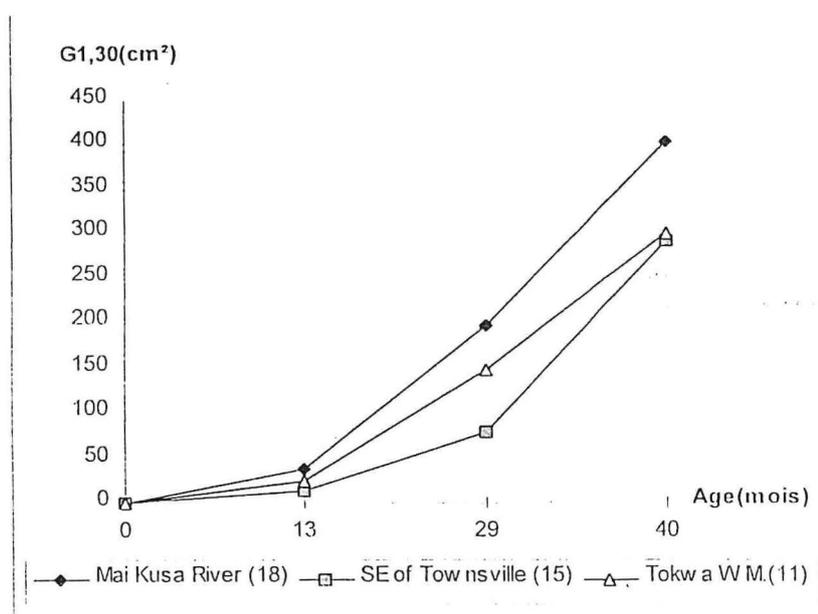
Pour le classement des moyennes, les rangs ne diffèrent pas trop de ceux observés sur la hauteur sauf que la distinction des groupes est moins nette et les modifications des rangs à l'intérieur des groupes peuvent avoir lieu. Les courbes de croissances en surface terrière montrent que ce caractère est bien influencé par les éclaircies, comme le montre le graphique n°9. Les provenances meilleures sont originaires de Papouasie Nouvelle Guinée comme Mai Kusa River ($9m^2/ha$), Dimissi Village ($8.3m^2/ha$), Wemenever ($8.4m^2/ha$) et les plus faibles sont toujours SE Townsville, 10 km of Musgraves, et Shoteel La avec une valeur moyenne de moins de $4 m^2/ha$ (plus de la moitié des meilleures).

Tableau n°27 : Résultats d'analyse de l'essai n°132 - Surface terrière

N°	Provenances	Rg	G13	CV	Rg	G29	CV	Rg	G40	CV
1	Woroi Wimpi	16	2.9 ^{ab}	20	11	8 ^{ab}	12	5	8.1 ^a	24
2	SHOTEEL LA	18	1.6 ^c	32	18	5.2 ^{bc}	33	18	3.9 ^b	31
3	10 km S of Musgraves	20	1.4 ^c	45	19	4.1 ^c	42	19	3.8 ^b	44
4	Oriomo river	10	3.2 ^{ab}	34	12	8 ^{ab}	15	17	6.7 ^a	31
5	Bimadebum village	13	3.0 ^{ab}	34	10	8.3 ^a	39	7	7.9 ^a	26
6	Pongaki E of Morehead	12	3.15 ^{ab}	34	13	8 ^{ab}	41	14	7.5 ^a	23
7	Dimissi village	11	3.2 ^{ab}	34	15	7.8 ^{ab}	41	4	38 ^a	21
8	Dediredi	7	3.5 ^{ab}	33	7	8.5 ^a	40	11	7.6 ^a	18
9	Western Province	6	3.5 ^{ab}	34	9	8.4 ^a	39	16	7.3 ^a	21
10	Mai Kussa River	3	4.02 ^a	23	4	9.36 ^a	28	2	8.6 ^a	26
11	Tokwa W Morehead	14	3.0 ^{ab}	36	14	7.9 ^{ab}	42	6	8.0 ^a	33
12	SE of Townsville	17	2.9 ^{bc}	38	17	6.9 ^{ab}	43	13	7.5 ^a	33
13	Boite	15	2.9 ^{ab}	35	16	7.6 ^{ab}	41	12	7.5 ^a	34
14	Wemenever province	9	3.3 ^{ab}	33	5	8.8 ^a	39	3	8.4 ^a	31
15	SE of Townsville	19	1.4 ^c	41	20	3.9 ^c	51	20	3.3 ^b	50
16	Gubam village	5	3.9 ^a	36	6	8.5 ^a	44	16	7.1 ^a	32
17	Bimadebum village	8	3.4 ^{ab}	33	8	8.5 ^a	39	8	7.9 ^a	31
18	Mai Kussa river	2	4.1 ^a	32	3	9.4 ^a	38	1	9.3 ^a	33
19	Konifok to Serisa	1	4.3 ^a	35	1	10 ^a	43	9	7.8 ^a	31
20	Dimissi village	4	4 ^a	35	2	9.7 ^a	43	15	7.6 ^a	42
	X		3.1	33		7.8	37		7.2	30
	CVP		27.5			21			16	
	h²G		0.87			0.87			0.86	
	ΔG		24			18			13.7	
	ddl		19			19			19	
	Test F		8.16			5.95			7.6	
	Proba		0.0001			0.0001			0.0001	

La variabilité est très importante pour ces caractères par rapport à celle qu'on a observée sur le caractère hauteur. Le coefficient de variation phénotypique varie entre 15 et 25% pour la surface terrière et atteint plus de 28% pour le poids et le volume. Une grande variabilité est aussi observée au niveau provenance partant du 18 à 50%, les plus importantes variabilités sont toujours observées sur les provenances de performance extrêmes.

L'héritabilité est aussi très forte au niveau de ce caractère, avec une valeur oscillant entre 0.85 et 0.90%. Les gains génotypiques conventionnels obtenus sur ces caractères sont très intéressants avec des valeurs variant de 13 à 25%. L'amélioration basée sur ce caractère paraît donc très justifiée.



Graph n°8 : courbe de croissance en surface terrière des provenances dans l'essai n°132

Tableau n°28 : Résultats d'analyse de l'essai n°132 - Poids (t/ha) et volume (m³/ha)

N°	Provenances	Rg	P40	CV	Rg	V40	ΔV	CV
1	Woroi Wimpi	5	37 ^a	30	5	43.2 ^{ab}	13	31
2	SHOTEEL LA	18	14 ^b	42	18	20.8 ^c	6.2	41
3	10 km S of Musgraves	19	12 ^b	73	19	17.2 ^c	5.2	60
4	Oriomo river	17	30 ^a	33	11	40.8 ^{ab}	12.2	24
5	Bimadebum village	13	36 ^a	30	2	44.5 ^{ab}	13.3	24
6	Pongaki E of Morehead	10	33 ^a	29	10	41.1 ^{ab}	12.3	27
7	Dimissi village	4	38 ^a	21	4	43.8 ^{ab}	13.1	22
8	Dediredi	10	34 ^a	23	12	40.2 ^{ab}	12	30
9	Western Province	15	33 ^a	24	8	41.8 ^{ab}	12.5	31
10	Mai Kussa River	2	39 ^a	31	9	41.4 ^{ab}	12.4	38
11	Tokwa W Morehead	8	36 ^a	37	16	36.3 ^b	10.9	32
12	SE of Townsville	12	33 ^a	37	13	40.1 ^{ab}	12	52
13	Boite	11	34 ^a	33	14	40 ^{ab}	12	33
14	Wemenever province	3	39 ^a	34	3	44.1 ^{ab}	13	22
15	SE of Townsville	20	10 ^b	62	20	14.7 ^{ab}	4.4	53
16	Gubam village	16	31 ^a	35	15	38.9 ^b	11.6	19
17	Bimadebum village	7	36 ^a	34	6	42.5 ^{ab}	12.7	20
18	Mai Kussa river	1	44 ^a	36	1	53.2 ^a	16	25
19	Konifok to Serisa	9	35 ^a	34	7	42.1 ^{ab}	12.6	13
20	Dimissi village	14	33 ^a	45	17	36.1 ^b	11	22
	X		32.1	36.5		38.04	11.4	31
	CVP		28.2			79.3		
	h²G		0.88			0.90		
	ΔGc		24.8			72		
	ddl		19			19		
	Test F		8.53			10.99		
	Proba		0.0001			0.0001		

III.2.2.2 Caractéristiques de forme

Comme ce pour l'essai n°109, ce groupe de caractères a été mesuré spécialement lors du la dernier inventaire. Pour les caractéristiques de forme, l'essai est relativement moins précis avec des coefficients de variation résiduels moyens à très élevés partant de 28.1% pour le nombre de brins, passant à 45% et 63% pour la recliné et peut arriver jusqu'à 86.9% pour le pourcentage en brin fourchus. Cette précision caractérise les données estimées au moyen des cotations arbitraires pour ce groupe de caractère.

Tableau n°29 : Résultats d'analyse pour l'essai n°132 - Caractéristiques de forme

N°	Provenances	Rg	NB	CV	Rg	PBF	CV	Rg	BD	CV
1	Woroi Wimpi	14	1.8	40	16	20.3 ^{ab}	124	3	71 ^{ab}	51
2	SHOTEEL LA	2	2.3	56	12	27.9 ^{ab}	95	15	52 ^{ab}	51
3	10 km S of Musgraves	12	2.0	33	8	32.5 ^{ab}	99	16	51 ^{ab}	67
4	Oriomo river	17	1.7	27	5	35 ^{ab}	112	17	47 ^{ab}	70
5	Bimadebum village	19	1.7	34	6	34.1 ^{ab}	105	11	58 ^{ab}	81
6	Pongaki E of Morehead	18	1.7	35	7	34.1 ^{ab}	141	12	57 ^{ab}	72
7	Dimissi village	11	2.0	26	17	18.3 ^{ab}	112	8	60 ^{ab}	64
8	Dediredi	20	1.7	49	9	32.5 ^{ab}	103	4	64 ^{ab}	53
9	Western Province	5	2.1	39	10	30 ^{ab}	108	10	58 ^{ab}	52
10	Mai Kussa River	1	2.3	42	11	29.6 ^{ab}	108	14	53 ^{ab}	59
11	Tokwa W Morehead	10	2.0	42	14	26.6 ^{ab}	118	6	60 ^{ab}	65
12	SE of Townsville	3	2.2	34	3	35.8 ^{ab}	115	18	46 ^{ab}	88
13	Boite	9	2.0	33	18	18.3 ^{ab}	91	1	79 ^a	34
14	Wemenever province	7	2.1	35	15	26.6 ^{ab}	81	19	45 ^{ab}	91
15	SE of Townsville	16	1.8	45	1	59.5 ^a	139	20	30 ^b	147
16	Gubam village	15	1.8	47	13	27.9 ^{ab}	107	2	74 ^a	38
17	Bimadebum village	4	2.1	29	19	15.8 ^b	83	7	60 ^{ab}	66
18	Mai Kussa river	6	2.1	31	4	35.6 ^{ab}	95	9	59 ^{ab}	91
19	Konifok to Serisa	10	2.0	30	2	39.1 ^{ab}	132	13	55 ^{ab}	83
20	Dimissi village	13	1.9	34	20	12.5 ^b	152	5	64 ^{ab}	152
	X		1.9	37		29.6	112		57.6	70
	CVP		10.2			24.1			13.2	
	h²G		0.16			0.35			0.37	
	ΔGc		1.6			11.9			6.9	
	ddl		19			19			19	
	Test F		1.2			1.541			1.61	
	Proba		0.2			0.07			0.05	

Les résultats montrent que les provenances ne sont pas significativement différentes sur le nombre de brins. Pour les autres caractères, on distingue 3 groupes homogènes de provenances qui ne se recoupent généralement pas ni avec celles de la croissance ni entre les caractères de forme eux-mêmes. On peut remarquer ici que la provenance SE of Townsville présente une forme qui se distingue des autres avec une forte proportion de brins fourchus (59.5%), une faible proportion de brins de qualité droit environ 30% contre plus de 45% pour les autres, alors que c'est la provenance la moins performante en matière de croissance. Cette provenance ne semble pas donc très adaptée pour le site de Mahela.

Les coefficients de variation intra sont aussi très importantes pour ces caractères surtout pour la fourchaison ce qui indique une variabilité intraprovenance très élevée. Le

coefficient de variation phénotypique, déjà modifié par la dispersion des données, reste modéré avec des coefficients de variation phénotypique égaux à 10.2% pour le nombre de brins, 15.6 à 25.4% pour la rectitude et 34.1% pour le pourcentage de brins fourchus.

L'héritabilité génétique est faible pour la fourchaison et la qualité du fût ($h^2_{G_i} = 0.35\%$) et très faible pour le nombre de brins. On peut en tirer que les caractères de forme ne sont pas contrôlés par le génotype mais qu'ils sont plutôt liés avec l'environnement. La sélection effectuée au niveau de ces caractères ne permet d'obtenir que des gains génotypiques conventionnels faibles à moyens variant de 1.6% pour le nombre de brins, à 6.9% et 9.4% pour les rectitudes et de 11.9% pour la fourchaison.

III.2.2.3 Corrélation entre les caractères

Pour les caractéristiques de croissance, notamment la hauteur et la surface terrière entre les différentes mesures, aucuns coefficients de corrélation n'est significatifs (tableau n°30 et n°31), ce qui permet de dire que la prévision sur le comportement de ces provenances est impossible dans le contexte de cet essai. C'est peut être du aux effets des éclaircies qui auraient modifié le comportement des provenances.

En ce qui concerne les différents caractères au même âge (40 mois), on observe une forte corrélation entre la hauteur et les autres caractéristiques de croissance par exemple le rp (H_{40}, G_{40}) = 0.59*** (tableau n°32). La corrélation entre les deux types de caractère (croissance et forme) est significative, elle est négative entre la hauteur et le nombre de brins rp (NB ; H) = -0.16, hauteur et fourche rp (h_{40}, PBF) = -0.31, mais positive entre la hauteur et la qualité du fût.

Tableau n°30 : Matrice de corrélation sur les hauteurs

	H13	H29	H40
H13	1.00		
H29	0.06	1.00	
H40	-0.01	-0.00	1.00

Tableau n°31 : - Matrice de corrélation sur les surfaces terrières

	G13	G29	G40
G13	1.00		
G29	0.05	1.00	
G40	0.00	-0.05	1.00

Tableau n°32 : - Matrice de corrélation entre les différents caractères

	H40	G40	NB	PBF	BD
G40	1.00				
P40	0.59**	1.00			
NB	-0.16*	0.25**	1.00		
PBF	-0.31**	-0.17*	-0.10*	1.00	
BD	0.41**	0.17*	0.00	-0.65	1.00

III.2.2.4 Caractéristique de floraison et de fructification

Pour cet essai, la floraison et la présence de reste de fruits sont déjà bien marquées à 3 ans.

Tableau n°33 : Résultats d'analyse de l'essai n°132 - Floraison et fructification

N°	Provenances	Fl	Fr
1	Woroi Wimpi	78	55
2	Shoteel LA	78	55
3	10 km S of Musgraves	70	55
4	Oriomo river	55	44
5	Bimadebum village	73	63
6	Pongaki E of Morehead	70	55
7	Dimissi village	70	45
8	Dediredi	80	70
9	Western Province	47	31
10	Mai Kussa River	52	41
11	Tokwa W Morehead	68	50
12	SE of Townsville	60	65
13	Boite	70	50
14	Wemenever province	80	50
15	SE of Townsville	85	60
16	Gubam village	75	45
17	Bimadebum village	60	35
18	Mai Kussa river	59	41
19	Konifok to Serisa	60	50
20	Dimissi village	68	50
	X	68.2	50.7
	ddl	19	19
	Test χ^2	17	13.9
	Proba	0.58	0.78

Le test d'indépendance de la proportion d'arbres présentant des inflorescences et des traces de fructification de l'année précédente avec les provenances n'est pas ici très significatif (tableau n°33). Cependant, la moyenne générale pour les variables Fl et Fr sont très intéressantes sur le fait qu'à 3 ans 68% des arbres sont en floraison et que plus de 50% ont déjà fructifié la saison précédente. Pour les plus mauvaises, au moins 47% présentent des fleurs et 31% pour l'année précédente. Les taux les plus importants sont observés sur les provenances SE Townsville et Dediredi avec un taux respectif de 85% et 70%.

III.2.2.5 Etude du Gain

Les gains calculés et présentés dans le tableau n°36 sont des gains phénotypiques intra et interprovenances apportés pour les caractères agronomiques, lors des travaux de sélection intraparcellaire effectués entre 13 et 29 mois (1996) avec un taux de 55% et entre 29 et 40 mois (1997) avec un taux de 50%.

Pour la première éclaircie, les gains apportés sont respectivement de 4.2% et 14.9% pour les caractères hauteur et surface terrière. La sélection a été donc plus sévère pour la surface terrière, ce qui permet de dire qu'à cet âge, considérer le caractère hauteur semble être plus bénéfique si on s'intéresse à la surface terrière.

La deuxième éclaircie n'a pas apporté de gain important sur les deux caractères

principaux de croissance. Les gains phénotypiques obtenus sont de 2.1% et 3.5% respectivement pour la hauteur et la surface terrière. La sélection équivaut à conserver les 83% des meilleures provenances en hauteur et 90% des meilleures provenances en surface terrière. Cette sélection s'est plutôt intéressé à la hauteur.

Tableau n°34 : Analyse du gain pour l'essai n°132

N°	Provenances	entre 13 et 29 mois				entre 29 et 40 mois					
		ΔPH	iH	ΔPG	iG	ΔPH	iH	ΔPG	iG	ΔPP	iP
1	Woroi Wimpi	4.6	0.31	19.07	0.45	3.9	0.44	1.5	0.05	2.5	0.06
2	Shoteel LA	10.8	0.51	32.1	0.51	1.1	0.12	1.2	0.03	2.8	0.11
3	10 km S of Musgraves	12.6	0.55	31.1	0.47	4.9	0.34	12.05	0.76	41.3	0.88
4	Oriomo river	1.8	0.22	17.9	0.27	0.24	0.04	2.5	0.10	4.1	0.09
5	Bimadebum village	4.6	0.36	19.5	0.54	1.9	0.26	3.9	0.17	6.0	0.06
6	Pongaki E of Morehead	2.7	0.24	11.9	0.32	3.6	0.23	5.4	0.19	8.8	0.14
7	Dimissi village	5	0.43	11.4	0.32	2.2	0.16	1.05	0.03	1.6	0.03
8	Dediredi	3.1	0.33	13.7	0.41	4.1	0.39	7.8	0.24	12.1	0.21
9	Western Province	2.8	0.27	7.5	0.23	-0.86	-0.10	5.5	0.21	8.7	0.14
10	Mai Kussa River	4.8	0.47	14.3	0.51	8.87	0.07	-0.31	-0.01	-0.46	-0.01
11	Tokwa W Morehead	11.8	0.52	33.7	0.52	2.36	0.18	6.5	0.18	11.2	0.17
12	SE of Townsville	8.8	0.36	29.3	0.38	2.2	0.16	18.4	0.36	32.5	0.34
13	Boite	4.5	0.28	16.9	0.40	2.2	0.15	7.8	0.30	11.7	0.25
14	Wemenever province	2.3	0.22	19.2	0.59	4.3	0.48	12.8	0.63	20.5	0.62
15	SE of Townsville	9.8	0.46	31.1	0.43	4.09	0.39	7.7	0.18	33.4	0.24
16	Gubam village	4.1	0.26	17.2	0.45	2.9	0.23	0.08	-	0.13	0.00
17	Bimadebum village	0.8	0.09	6.4	0.22	5.5	0.55	8.36	0.36	12.9	0.36
18	Mai Kussa river	2.5	0.26	14.5	0.46	3.7	0.38	10.82	0.37	15.7	0.36
19	Konifok to Serisa	2.5	0.24	10.06	0.33	2.1	0.31	-4.2	-0.19	-6.2	-0.21
20	Dimissi village	0.6	0.05	11.09	0.38	-0.15	-0.01	-8.01	-0.37	-12.7	-0.35
	X	4.5		16.2		2.3		3.9		6.39	
	ΔP	4.18		14.9		2.07		3.5		5.87	
	ΔG	3.92		13.7		1.86		3.2		5.4	
	i	0.39		0.63		0.30		0.19		0.19	

En ce qui concerne l'effet de la première sélection intraparcellaire effectuée, les gains sont très variables d'une provenance à l'autre comme l'intensité des sélections. Pour la hauteur, ce gain varie de 0.6% sur le provenance Dimissi Village jusqu'à 12.6% pour le cas de provenance Musgraves. Ces gains sont obtenu par la sélection des 98% et 66% des meilleurs arbres respectivement pour ces deux provenances. Plus la variabilité au sein d'une provenance est grande pour un caractère, plus la sélection est efficace pour ce caractère et le gain est important. Pour la surface terrière, le gain varie d'une provenance à l'autre avec des valeurs un peu plus importantes que celles observées sur la hauteur. Il varie de 6.4% jusqu'à 19.2% pour les deux provenances précitées.

La deuxième sélection effectuée en 1997 avec un taux de 50% semble être moins efficace par rapport à la première mais varie d'une provenance à l'autre quel que soit le caractère considéré. Les gains sont ainsi relativement moins importants que ceux obtenus lors de la première éclairci. Sur la hauteur, les gains sont presque nuls ou même négatifs pour certaines provenances comme la provenance Dimissi village, Western province. Les gains les plus importants (plus de 5%) ont été observés sur les provenances moins performantes comme Musgraves, SE of Townsville. Pour la surface terrière, les gains restent toujours très variables. Les gains les plus importants sont observés sur les provenances les moins performantes comme Musgraves, Wemenever province et SE of Townsville respectivement 12, 13 et 18%.

III.2.2.6 Productivité de l'essai

La production par provenance est ici estimée à partir de la production totale moyenne par parcelle de chaque provenance. A 40 mois, cette production est très variable mais la moyenne tourne autour de 32t/ha soit 9.6t/ha/an. Les provenances les plus performantes ont une production estimée à environ 40t/ha soit 12t/ha/an. Il s'agit de Mai Kussa river, Dimissi Village et Konikof to Serisa.

Pour le peuplement en général, cet essai donne une production de 46.2t/ha soit 13.8t/ha/an qui est supérieurs à celle obtenu dans l'essai n°109 avec 40.3t/ha soit 9.8t/ha/an (tableau n°35).

Tableau n°35 : Productivité du peuplement de l'essai n°132

PRODUCTION	Age (mois)		
	13	29	40
Densité (pieds/ha)	1111	493	246
Surface terrière (m ² /ha)	3.08	9.5	11.5
Poids			
- Production (t/ha)	-	24.5*	46.2*
- Productivité (t/ha/an)	-	10.1*	13.8*
Volume			
- Production (m ³ /ha)			38**
- Productivité (m ³ /ha/an)			11*

* valeurs estimées sans tenir compte des produits enlevés lors de la première éclaircie ; ** valeur estimée sans tenir compte des produits d'éclaircie

CONCLUSION PARTIELLE SUR L'ESSAI N°132

Au niveau des caractères de croissance, on observe des différences significatives entre les provenances. Trois groupes de provenances peuvent être identifiés même si cela ne se recoupe pas entre les différents caractères. La meilleure croissance est observée sur la provenances Mai Kussa river, Wemenever Provence, Dimissi Village à raison de 50m³/ha à l'âge de trois ans avec une densité de 246 pieds à l'hectare. Les provenances moins performantes sont toujours constituées par celles originaire d'Australie comme SE Townsville et de Shoteel LA.

En ce qui concerne les caractères de forme, la différence entre provenance n'est pas très significative. La variabilité est remarquable au niveau traitement mais l'héritabilité n'est pas importante c'est à dire que ces caractères ne sont pas génotypiquement héréditaires, mais se trouvent plutôt influencés par l'environnement.

Le gain est plus important sur la hauteur pour les sélections précoces, mais au fur et à mesure de la croissance de l'arbre, la sélection sur la surface terrière devient plus efficace. Cet essai semble être prêt pour la production des graines par croisement panmixte du fait que toutes les provenances présentent déjà une bonne proportion d'arbre en floraison et en fructification à l'âge de trois ans.

L'observation de la distribution géographique de ces différentes provenances apporte des explications sur la différence de comportement observée sur les différents groupes. Toutes les provenances d'Australie Queensland sont récoltées dans les zones de pluviométrie inférieures à celles de Papouasie Nouvelle Guinée, ce qui confirme l'importance de la pluviométrie pour *Acacia crassicarpa*.

III.2.3 ESSAI N°161 IVOLOINA

Cet essai a été installé dans la station d'Ivoloina dans l'objectif de répliquer les essais 132 et 109 situés à Mahela.

Les données relatives à cet essai ont été recueillies à 14 et à la 21 mois après la plantation. La floraison pour cet essai n'a pas été considérée compte tenu de son jeune âge, même si certains individus commençaient déjà à fleurir.

III.2.3.1 Caractéristiques de croissance

Le tableau suivant présente les résultats d'analyse effectuée sur la hauteur totale, sur laquelle la hauteur dominante par parcelle a été considérée.

Tableau n°36 : Résultats d'analyse de l'essai n°161 - Hauteur totale (cm)

N°	Provenance	Rg	H14	CV	Rg	H21	ΔH	CV
1	Tokwa W Morehead WP	6	442 ^b	18	6	910 ^a	520	9
2	Bensbach WP	3	463 ^{ab}	17	3	940 ^a	537	10
3	Kapal Oriomo	2	477 ^{ab}	17	5	912 ^a	521	6
4	Jardine River Bamanga	9	332 ^d	21	9	826 ^b	472	3
5	Bensbach WP	5	462 ^{ab}	18	2	942 ^a	538	6
6	Tokwa W Morehead WP	7	435 ^b	21	7	901 ^a	515	11
7	Chili Beach	8	402 ^c	18	8	885 ^{ab}	506	5
8	Dimissi Village	4	463 ^{ab}	17	4	926 ^a	529	8
9	Arufi	1	496 ^a	17	1	967 ^a	552	9
	X		442	18		913.3	521.9	7
	CVP		11.1			3.8		
	h²G		0.94			0.68		
	ΔGc		10.45			2.584		
	ddl		8			8		
	Test F		17.5			3.26		
	Proba		0.0001			0.0051		

L'essai est assez précis pour la hauteur avec un coefficient de variation résiduel oscillant entre 6 et 7.4%. Le classement des moyennes nous permet d'identifier 2 groupes homogènes de provenance significativement différents. Le groupe le plus faible est constitué par les provenances Jardine River Bamanga et Chili Beach avec des hauteurs de 826 cm et 885 cm à 21 mois. La provenance Arufi est significativement supérieure avec une hauteur moyenne égale à 967 cm à deux ans. Le comportement des provenances de cet essai ne se distingue pas trop de celui observé sur les autres essais. En effet, la variabilité du caractère hauteur est relativement faible à 21 mois (3.8%). L'héritabilité est par contre très forte à 14 mois ($h^2g = 0.94$) et moyenne à l'âge de 21 mois ($h^2g = 0.68$).

Pour la surface terrière et les caractères dérivés, l'essai est moins précis avec un coefficient de variation résiduel égal à 14% à 14 mois jusqu'à 20% au 21^{ème} mois.

Le classement des moyennes semble être conservé pour la surface terrière et la hauteur. Arufi est toujours classée en tête avec une surface terrière moyenne égale à 16.4 m² à l'hectare opposée aux provenances Jardine River Bamanga et Chili Beach avec des valeurs

respectivement de 8.4 et 12.4 m² à l'hectare. Ce sont les seules provenances significativement différentes des autres. Le classement ne change pas encore entre les deux années de mesure.

Tableau n°37 : Résultats d'analyse de l'essai n°161 - Surface terrière (m²/ha)

N°	Provenance	Rg	G14	CV	Rg	G21	CV
1	Tokwa W Morehead WP	3	4.4 ^a	40	7	13.4 ^{ab}	15
2	Bensbach WP	5	4.2 ^{ab}	42	3	14.7 ^{ab}	14
3	Kapal Oriomo	4	4.4 ^a	41	5	14.0 ^{ab}	15
4	Jardine River Bamanga	9	2.6 ^c	43	9	8.4 ^c	19
5	Bensbach WP	6	4.0 ^{ab}	41	4	14.2 ^{ab}	14
6	Tokwa W Morehead WP	7	4.0 ^{ab}	41	6	13.5 ^{ab}	14
7	Chili Beach	8	3.0 ^{bc}	44	8	12.4 ^b	15
8	Dimissi Village	2	4.9 ^a	41	2	14.9 ^{ab}	13
9	Arufi	1	5.3 ^a	41	1	16.4 ^a	13
	X		4.1	41.5		13.6	14.6
	CVP		20.7			16.5	
	h²G		0.85			0.89	
	ΔGc		17.5			14.6	
	ddl		8			8	
	Test F		7.04			9.5	
	Proba		0.0001			0.0001	

La variabilité est plus importante pour la surface terrière avec un coefficient de variation phénotypique de l'ordre de 16%. Ce qui est aussi intéressant pour ce caractère c'est qu'il présente une variabilité intra traitement assez élevée convenant très bien à la sélection intraprovenance préconisée. Cette variabilité est liée au génotype (ou provenance) puisque l'héritabilité génotypique est de 0.89 à 21 mois, permettant d'obtenir du gain génotypique conventionnel assez important de l'ordre de 14 à 17%.

Pour le poids et le volume (tableau n°38 et 39), la variabilité devient plus importante aussi bien à l'intérieur qu'entre les provenances. Le coefficient de variation phénotypique est égal à 16% pour le poids et peut arriver jusqu'à 57% chez le volume. De même pour l'héritabilité génotypique qui est très élevée pour le poids ($h^2g = 0.98$) et moyennement élevée pour le volume ($h^2g = 0,68$).

Tableau n°38 : Résultats d'analyse de l'essai n°161 - Poids (t/ha)

N°	Provenance	Rg	P14	CV	Rg	P21	CV
1	Tokwa W Morehead WP	3	16.8 ^a	48	5	49 ^{ab}	48
2	Bensbach WP	5	16.1 ^{ab}	42	2	53.6 ^{ab}	40
3	Kapal Oriomo	4	16.8 ^a	42	6	51.2 ^{ab}	45
4	Jardine River Bamanga	9	10.1 ^c	61	9	30.9 ^c	57
5	Bensbach WP	7	15.4 ^{ab}	42	4	51.8 ^{ab}	44
6	Tokwa W Morehead WP	6	15.3 ^{ab}	53	7	49.4 ^{ab}	51
7	Chili Beach	8	11.8 ^{bc}	51	8	45.4 ^b	50
8	Dimissi Village	2	18.5 ^a	47	3	54.4 ^{ab}	47
9	Arufi	1	20 ^a	36	1	59.8 ^a	42
	X		15.7	46		49.5	47
	CVP		19.5			16.26	
	h²G		0.90			0.98	
	ΔGc		17.5			15.9	
	ddl		8			8	
	Test F		5.9			8.72	
	Proba		0.0001			0.0001	

Tableau n°39 : Résultats d'analyse de l'essai n°161 - Volume.

N°	Provenance	Rg	V	ΔV	CV
1	Tokwa W Morehead WP	6	72.2 ^{ab}	41.2 ^{ab}	38
2	Bensbach WP	5	74.4 ^{ab}	42.5 ^{ab}	41
3	Kapal Oriomo	8	50.7 ^b	28.9 ^b	57
4	Jardine River Bamanga	9	47.4 ^b	27 ^b	56
5	Bensbach WP	2	88.2 ^{ab}	50.4 ^{ab}	25
6	Tokwa W Morehead WP	4	76 ^{ab}	43.4 ^{ab}	30
7	Chili Beach	7	69.2 ^{ab}	39.5 ^{ab}	35
8	Dimissi Village	3	85.1 ^{ab}	48.6 ^{ab}	28
9	Arufi	1	97.5 ^{ab}	55.7 ^a	29
	X		73.6	42	37
	CVP		57		
	h²G		0.67		
	ΔGc		38.3		
	ddl		8		
	Test F		3.06		
	Proba		0.007		

Les différences observées entre les provenances dans les essais précédents sont observées également dans cet essai.

III.2.3.2 Caractéristiques de forme

Pour ce groupe de caractères, l'essai se montre moins précis avec un coefficient de variation résiduel égal à 10.25% pour le nombre de brins, 13.9 et 48.5% pour la rectitude et arrive jusqu'à 109.2% pour la fourchaison.

Tableau n°40 : Résultats d'analyse de l'essai n°161 - Caractères de forme

N°	Provenance	Rg	NB	CV	Rg	PBF	CV	Rg	BD	CV
1	Tokwa W Morehead WP	6	2.1 ^a	38	8	1.8	160	2	80 ^{ab}	15
2	Bensbach WP	5	2.1 ^a	39	3	4.0	99	4	80 ^{ab}	8
3	Kapal Oriomo	8	2.1 ^b	35	6	2.6	73	1	87 ^a	8
4	Jardine River Bamanga	9	1.8 ^b	41	4	3.7	93	3	80 ^{ab}	9
5	Bensbach WP	3	2.2 ^a	30	7	2.4	80	9	66 ^b	23
6	Tokwa W Morehead WP	2	2.2 ^a	32	5	2.7	83	6	77 ^{ab}	11
7	Chili Beach	1	2.3 ^a	38	2	4.9	77	5	76 ^{ab}	10
8	Dimissi Village	4	2.2 ^a	31	1	5.0	62	7	74 ^{ab}	7
9	Arufi	7	2.1 ^{ab}	32	9	1.8	130	8	72 ^{ab}	17
	X		2.1	35		3.2	95		77.3	12
	CVP		6.92			61.7			21	
	h²G		0.70			0.15			0.59	
	ΔGc		4.84			9.4			12.4	
	ddl		8			8			8	
	Test F		3.41			1.18			2.48	
	Proba		0.0029			0.326			0.02	

La différence significative est observée sur le nombre de brins et la rectitude. Mais le classement des moyennes et le nombre de groupes pour ces caractères ne correspondent pas vraiment avec ceux de la croissance. Ce qui est confirmé par la faible corrélation entre ces deux types de caractère. Pour le pourcentage de fourche, par contre, on n'observe aucune

différence significative entre les provenances.

Les arbres ont en moyenne 2 brins par arbre, elles sont peu fourchues avec une moyenne de 3.5% et présente beaucoup plus de fûts de qualité droit (77.8%). La variabilité est assez modérée chez le nombre de brins, mais l'héritabilité génotypique est assez élevée ($h^2G = 0.70$). Tandis que pour les autres caractères, la variabilité est plus importante ($CV_p > 27\%$), mais l'héritabilité génotypique est faible pour la qualité du brins ($h^2g = 0.59$) et très faible pour la fourchaison ($h^2g = 0.15$).

III.2.3.3 Corrélation entre les caractères

Cet essai est caractérisé par des corrélations très significatives entre les différents caractères de croissance notamment entre la hauteur, la surface terrière à différents âges mesurés et entre les deux caractères pour la même année de mesure, ce qui confirme l'importance de la part de l'éclaircie sur la modification du comportement des provenances au niveau croissance. Les corrélations entre les caractères de croissance et de forme ne sont pas significatives sauf pour le nombre de brins, c'est à dire que la sélection sur la forme ne cause pas d'effets sur les caractères de production et vice versa, ce qui peut être intéressant en facilitant les travaux d'amélioration.

Tableau n°41 : - Matrice de corrélation entres différents caractères

	H14	G14	H21	G21	NB	BD	PBF
H14	1.000						
G14	0.77*	1.00					
H21	0.07	0.12	1.00				
G21	0.66*	0.76*	0.13	1.00			
NB	0.17*	0.23*	0.06	0.44	1.00		
BD	-0.07	-0.14*	0.10	-0.09	-0.04	1.00	
PBF	-0.02	0.05	0.03	0.023	-0.04	-0.24*	1.00

III.2.3.4 Productivité de l'essai

C'est dans cette station que l'espèce présente la meilleure production malgré la jeunesse du peuplement, on constate déjà une productivité de 28.3t/ha/an à 2 ans. La production en volume varie de 25 à 55m³/ha/an de la provenance la plus faible à la plus performante. Il est vrai que le peuplement est ici encore dense à 2500 pieds/ha (n'ayant pas encore subit d'éclaircie). Les conditions édaphiques (sol sableux et calcaire) et climatiques (forte pluviométrie) de la station sont plus favorables pour l'espèce.

Tableau n°42 : Productivité du peuplement de l'essai n°161

PRODUCTION	Age(mois)	
	14	21
Densité (pieds/ha)	2500	2500
Surface terrière (m ² /ha)	4.15	13.6
Poids		
- Production (t/ha)	15.7	49.5
- Productivité (t/ha/an)	13.4	28.3
Volume		
- Production(m ³ /ha)		73
- Productivité (m ³ /ha/an)		41

CONCLUSION PARTIELLE SUR L'ESSAI N°161

On observe déjà des différences significatives entre les provenances au niveau des caractères de croissance. On peut identifier deux à trois groupes homogènes significativement différents mais l'écart entre les différents groupes n'est pas importants. On peut mentionner la performance de Arufi et de Dimissi village avec une production de plus de 90m³/ha à l'âge de deux ans et le comportement moyen de celle de Jardine River Bamanga avec une production de 47m³/ha.

La variabilité est très importante à l'intérieur des provenances mais assez modérée entre les provenances. La variabilité la plus importante est observée sur la surface terrière. Cela permet des sélections intraprovenances plus faciles. Les héritabilités au niveau des caractères de production sont élevées laissant espérer des gains importants.

Cet essai est caractérisé par sa bonne productivité et la bonne conformation des arbres, ce qui permet de confirmer la préférence de l'espèce d'une telle condition.

III.3 SYNTHÈSE DES RESULTATS

III.3.1 COMPARAISON DES ESSAIS

La comparaison des performances sur les différentes stations n'est pas ici très évidente car les essais ne présentent que deux provenances communes : Tokwa Morehead WP et Dimissi village.

En ce qui concerne les caractères de forme, on peut constater une certaine différence entre les essais pour le nombre de brins sur l'essai 132 qui est en moyenne de 1.9 par arbre tandis que sur l'essai n°109, on a en moyenne 2.5 brins par arbre et qui sont plus fourchus par rapport au premier (35.1% contre 29.6%). Quant à l'essai d'Ivoloina, la fourchaison n'est pas très élevée (3.5%) et le nombre de brins par arbre est égale à 2. La chance d'avoir des fûts droits est assez élevée dans l'essai n°161 d'Ivoloina (plus de 70%), moyenne dans l'essai 132 (plus de 50%) et très faible dans l'essai n°109 avec une proportion de brins droits (moins de 30%).

La productivité reste le critère le plus distinctif pour les trois essais dans les deux sites : Mahela et Ivoloina. Les essais présentent une productivité différente, l'essai d'Ivoloina se trouve au premier rang avec une productivité de 12t/ha/an déjà à 21 mois contre 13.8t/ha/an pour l'essai n°132 à l'âge de 40 mois et 12t/ha/an à 61 mois pour l'essai n°109. Ces différences au niveau de la production peuvent expliquer la préférence de l'espèce pour les régions côtières à forte pluviosité et au sol sableux (voir caractéristiques des stations dans le tableau n°5). On observe également des différences notables entre les deux essais installés sur la station de Mahela.

III.3.2 COMPARAISON DES PROVENANCES

Etablir un classement synthétique pour toutes les provenances de l'ensemble des essais ne semble pas ici très évident vu que d'une part la plupart des provenances utilisées dans chaque dispositif est propre à chacun. Comme on l'a déjà vu, les provenances originaires de Papouasie Nouvelle Guinée sont plus performantes par rapport à celle de l'Australie.

A titre indicatif, il faut mentionner les performances des provenances suivantes dans les différents essais :

- Mai Kussa River (94/10223N),
- Wemenever Province (94/10219N),
- Dimissi village (89/8848N 109; 89/08847N 132; 9510274N 161),
- Tokwa W Morehead (91/9141N 109 et 132; 95/10273N 161),
- Arufi (95/10275N 161).

De même pour les caractères de forme, le classement peut varier d'un essai à un autre mais les provenances Dimissi Village- Bimadebum Village- Boîte- Wemenever province sont relativement plus intéressantes avec un taux de fourchaison inférieur à 25% et de brin droit supérieur à 60%.

III.3.3 VARIABILITE DES CARACTERES

Les fortes variabilités intraprovenances ont été principalement observées à travers les caractéristiques de croissance notamment la surface terrière, le poids et le volume. Pour

l'ensemble des essais, les coefficients de variation phénotypique sont élevés de 15 à 31%.

La hauteur présente une variabilité plus importante au jeune âge. Les coefficients de variation phénotypique sont inférieurs à ceux obtenus pour la surface terrière et les autres caractères de production. Cette observation se confirme dans les trois essais.

En ce qui concerne les caractères de forme, c'est le nombre de brins qui exprime le plus de variabilité avec des coefficients de variation phénotypique faibles tandis que les autres présentent un coefficient de variation très élevé variant de 15,4, 19,2% jusqu'à 33,7, 42%. La variabilité des caractères change d'un essai à un autre, tel que la plus faible est observée sur l'essai d'Ivoloina, suivie par celle de l'essai n°132 de Mahela et très élevée pour l'essai n°109 de la même station.

III.3.4 HERITABILITE DES CARACTERES

L'héritabilité génotypique de tous les caractères varie peu d'un dispositif à l'autre surtout pour les caractères de croissance. Mais pour pouvoir les comparer, il faut considérer les mêmes caractères au même âge. Pour l'ensemble des essais, ce paramètre se montre assez élevé mais les héritabilités génotypiques observées sur les caractéristiques de forme sont inférieures à celles de la croissance voire même très faibles pour le nombre de brins (essai n°132) et le taux de fourchaison (essai n°161).

III.3.5 GAINS

III.3.5.1 Gains génotypiques conventionnels

Le gain résulte du produit du coefficient de variation phénotypique avec l'héritabilité génotypique ($\Delta G_c = h^2 G \times CV_p$), il varie d'un caractère à un autre et d'un essai à un autre. Pour l'ensemble des essais, le gain le plus important est obtenu sur la surface terrière avec un maximum de 25,5% pour l'essai n°109. Le gain est faible à moyen pour la hauteur et très variable avec des valeurs oscillants entre 2,5% et 14%. La valeur la plus faible s'observe sur l'essai n°161. Les gains sont généralement faibles pour les caractéristiques de forme. Les gains assez faibles observés sur ce dernier groupe de caractère permettent de dire que l'amélioration sur la forme sera peu efficace.

III.3.5.2 Gains phénotypiques apportés par les éclaircies

Ces gains phénotypiques ont été calculé pour les caractères de croissance. Ils sont beaucoup plus importants pour la surface terrière.

Les gains obtenus par traitement sont très variables d'une provenance à l'autre. Plus le coefficient de variation est élevé, plus la sélection est efficace et plus le gain est important. Les gains les plus élevés sont observés sur les provenances les moins performantes ou les plus performantes présentant un coefficient de variation important.

III.3.6 RELATIONS ENTRE LES DIFFERENTS CARACTERES

Les résultats des études de corrélation par essai entre les différents caractères permettent de formuler les remarques suivantes :

- Les coefficients de corrélations entre les caractères de croissance à travers les

différentes années de mesure sont très faibles et variables. Les corrélations juvéniles - adultes chez l'*Acacia crassicarpa* dans les conditions de ces essais sont inexistantes. Les éclaircies sélectives effectuées ont sans doute influencé ce fait.

- Entre la croissance et la forme, on obtient des corrélations significatives. Ce qui fait que les sélections effectuées sur la surface terrière peuvent entraîner des effets bénéfiques sur la forme. Par exemple, la sélection effectuée pour améliorer la surface terrière va diminuer le pourcentage de fourche et fait augmenter le pourcentage de brins de type droit. La sélection effectuée sur la hauteur fait diminuer le nombre de brins comme le pourcentage des bois fourchus et améliore la qualité des fûts. Ces observations sont d'autant plus importantes que l'*Acacia crassicarpa* est une espèce à usages multiples et que l'on doit considérer la forme.

Quatrième partie :
DISCUSSIONS ET SUGGESTIONS

IV. DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS

IV.1 CONSEQUENCES SUR LES TRAVAUX D'AMELIORATION GENETIQUE

Les résultats des essais qui viennent d'être interprétés nous permettent de dire que les sélections basées sur les caractéristiques de croissance directement mesurables, semblent être les plus intéressantes et donnent des gains assez importants.

La sélection intraprovenance adoptée pour ces premiers essais a déjà permis d'obtenir des gains acceptables surtout sur les caractères de production. Dans le souci de maintenir une base génétique large pour les sorties variétales qu'on veut produire, il ne semble pas opportun de penser à la sélection interprovenance. Les provenances s'avérant inadaptées ne sont pas nombreuses, leur élimination n'entraîneront pas de changement notable sur le gain obtenu. Les provenances les moins performantes sont surtout originaires d'Australie Queensland, relativement peu nombreuses dans les essais. Les éliminer des essais consiste donc à rétrécir la base génétique et à déséquilibrer la structure des vergers à graines.

Ce qui doit retenir l'attention pour la conduite de ces vergers consiste à notre avis au type d'aménagement applicable à ces vergers compte tenu de la fragilité de l'espèce. Des études sur l'écartement optimum tenant compte du compromis entre la stabilité et la productivité du peuplement doivent être envisagées si l'on veut vraiment pérenniser l'utilisation de l'espèce, donc des vergers. De plus la gestion en futaie paraît compromise au-delà de Cinq ans, des stratégies pour le renouvellement et la réplication des vergers dans les différents sites nous semblent donc primordiales. Il s'agit par exemple de multiplier les essais à Ivoloïna. L'installation des essais de descendances issus de ces premiers vergers en introduisant des nouvelles provenances permettrait de viser à la fois le double objectif d'évaluer d'une manière concrète les gains obtenus lors des premiers essais et d'autre part à multiplier les peuplements à graines.

IV.2 POTENTIALITE DE L'ESPECE ET PERSPECTIVE DE VULGARISATION A MADAGASCAR

Acacia crassicarpa représente une potentialité très importante :

- Du point de vue croissance :

Les résultats des analyses effectuées sur les essais dans les deux stations montre que la croissance de cette espèce est très importante. Il semble que *Acacia crassicarpa* constitue l'espèce la plus prometteuse parmi les espèces d'*Acacia* introduites dans le même contexte, avec une production totale atteignant 47 tonnes à l'hectare à l'âge de 4 ans contre 43 tonnes à l'hectare par an pour *Acacia mangium* et de 40 tonnes à l'hectare par an pour *Acacia auriculiformis*. A titre indicatif, l'opération de pesage effectuée sur le peuplement à l'âge de 4 ans pour le cas de Mahela a permis de noter que des arbres pesaient plus de 700 kg. Cette espèce est donc exploitable à partir de cet âge ce qui est assez court même par rapport aux *Eucalyptus*.

- Du point de vue plasticité :

Même si les provenances ne sont pas identiques pour les différents essais, leur comportement ne diffèrent pas trop entre elles. Il n'y a pas eu apparemment des changements sur le classement des provenances en se référant aux provenances témoins. Le facteur le plus important pour la croissance semble être la pluviométrie. Le choix de la région orientale comme zone potentielle pour l'espèce est donc judicieux vu la forte pluviométrie de la région. La variation des conditions existantes à l'intérieur de la région d'introduction (zone Est), notamment la qualité du sol, n'influence pas le comportement de l'espèce. L'utilisation de cette espèce comme essence de recolonisation des zones dégradées par la pratique de "tavy" est tout à fait recommandé.

Le comportement de l'espèce dans des autres zones bioclimatiques du pays dans le cadre des essais d'introduction comme à Kianjasa (Haute terre), Miadana (Côte ouest) ne montrent aucune signe d'inadaptation même si les conditions écologiques y sont très différentes. Cela confirme la plasticité importante de l'espèce remarquée dans les autres pays d'introduction.

- Du point de vue rusticité :

Le point fort des espèces ligneuses légumineuses comme les *Acacia* concerne leur capacité à fixer l'azote atmosphérique et donc d'utiliser cette capacité pour sa croissance. Il s'agit de générer l'azote par le système symbiotique racine-rhizobium, c'est un phénomène qui commence déjà au stade très jeune et qui leur permet de résister à des conditions difficiles de fertilité de sol. Il leur suffit de retrouver dans le site les souches de rhizobium spécifique, sinon, l'inoculation est nécessaire. Pour le cas d'*Acacia crassicarpa*, ce problème ne se pose pas, car cette espèce fait partie des espèces légumineuses de type "*promiscuous*" c'est à dire qu'elle peut noduler avec une large spectre de souches existantes dans le milieu. Pour cette espèce, l'apport de fertilisant lors de la plantation est inutile ce qui limite le frais de mise en place.

- du point de vue sylviculture :

Même si les études de comportement de l'espèce ne sont pas encore très poussées, de simples observations sur les essais nous ont permis de constater que cette espèce peut offrir une large possibilité d'exploitation et de gestion qui mérite d'être approchée. Sa capacité à rejeter de souche, si confirmé, devrait permettre l'exploitation en régime de taillis à courte révolution. On a aussi observé une régénération naturelle importante dans les zones dégagées de l'ombre et des litières. Cela constitue une possibilité pour le renouvellement du peuplement et d'extension naturelle.

- du point de vue qualité du bois :

L'objectif principal de production de bois d'énergie est justifié pour *Acacia crassicarpa* qui offre un meilleur rendement énergétique, une facilité de séchage et de carbonisation par rapport à des essences qui sont communément utilisés comme l'Eucalyptus et le Pinus. Les potentialités de l'espèce reposent également sur les possibilités d'utilisation multiple de son bois. Dans le contexte de la région orientale, on peut proposer pour la communauté rurale quelques possibilités d'usages de l'espèce telle que :

- bois pour les petites constructions sous forme de perche ou poteaux pour la construction de case,

- écorces pour la confection des cases ou d'autres utilisations quotidiennes, sans parler d'autres utilisations plus nobles comme l'extraction de tanins pour le tannage,

- recolonisation rapide des terrains dégradés, protection du sol, restauration de la fertilité des terrains exploités sous forme de jachère par exemple. L'espèce devrait convenir dans les systèmes agroforestiers.

- bonne production de pollen pendant une période de floraison assez étendue pour l'exploitation mellifère.

Malgré tous ces avantages, il ne faut pas négliger dans la conduite des peuplements la fragilité de l'espèce aux vents violents surtout aux cyclones qui sont des phénomènes assez fréquents dans la région orientale de l'île. Cette fragilité se présente par des phénomènes de chablis par des fissurations au niveau des fourches même si ces dernières se trouvent proche du sol. Cela peut aussi se manifester par des cassures au niveau supérieur des branches du fait que les houppiers sont trop lourds pour les branches qui les rendent instables aux grands coups de vent. Remarquons toutefois que les arbres des vergers ont dépassé l'âge d'exploitabilité.

En ce qui concerne la promotion de l'espèce, en tant qu'espèce nouvelle surtout pour les potentiels utilisateurs, on doit penser à des études assez poussées sur le comportement de l'espèce pour pouvoir proposer des modes de conduite et des régimes adéquats pour les peuplements issus des plantations, notamment sur la capacité de rejeter, la possibilité de multiplication végétative (par drageonnement ou par bouture), les modes de gestion de la régénération naturelle,.... L'objectif serait de proposer des règles de sylviculture simples et adaptées à l'espèce.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'étude qui précède a permis d'une part de fournir plus de connaissances sur *Acacia crassicarpa*, en tant qu'espèce nouvelle dans le domaine du reboisement à Madagascar et d'autre part d'évaluer les performances génétiques de cette espèce dans le contexte de la région orientale. Les essais d'introduction et de comparaison des provenances installés dans les deux sites : Mahela et Ivoloïna sont de première importance. Cette évaluation a conduit à la détermination des paramètres génétiques relatifs à certains caractères jugés intéressants du point de vue économique comme les caractères agronomiques, de forme et phénologiques. Les paramètres génétiques considérés sont l'héritabilité génotypique, les gains phénotypiques et génotypiques intra et interprovenances, les variabilités intra et interprovenances pour les différents caractères.

Les études portées sur la monographie de l'espèce, montre à ce niveau que *Acacia crassicarpa* est une espèce bien adaptée aux différents sites de la région, de plus que les conditions du milieu sont proches de celles de l'aire originelle du point de vue climat et altitude mais assez pauvres du point de vue fertilité. Elle présente une croissance et une vigueur comparable à celle observées dans d'autres pays d'introduction possédant des sites jugés favorables comme l'Asie de Sud Est tels que Thaïlande, Malaisie et Chine et certains Pays d'Afrique comme le Côte d'Ivoire. Le caractère très "**plastique**" et assez "**rustique**" de cette espèce est confirmé, et ces critères sont considérés pour le choix des espèces destinées à l'utilisation villageoise. La supériorité par rapport aux autres espèces du même genre (*Acacia mangium* et *A. auriculiformis*) a été mis en évidence en matière de croissance. L'étude de certains caractéristiques de l'espèce notamment l'aspect technologique du bois montre que cette essence est avant tout particulièrement intéressante pour la production de bois d'énergie aussi bien pour la population locale, en alternative avec les produits des forêts naturelles en vue de leur conservation, que pour les autres régions (les grandes villes) qui s'approvisionnent essentiellement avec les produits des reboisements de la région que ce soit sous forme de charbon ou de bois de feu. A part cela l'espèce offre une large possibilité d'usage dans le contexte de la région orientale en tant qu'essence d'amélioration et de protection des sols dégradés.

En ce qui concerne l'amélioration génétique, les résultats ont montré que :

Pour l'héritabilité génotypique, même si les valeurs présentent une certaine variabilité d'un essai à un autre, les caractères de croissance sont fortement héréditaires avec une héritabilité génotypique variant de 0.85 à 0.92. Les calculs du gain génotypique obtenu en considérant un caractère montre que la sélection au niveau hauteur est surtout intéressante au stade jeune de la plantation tandis qu'au moment où les arbres atteignent une certaine hauteur (à partir de la 4^{ème} année pour les cas des essais), le critère surface terrière (croissance latérale) devient le plus intéressant. En ce qui concerne le cas des vergers, les deux premières éclaircies doivent se faire en se basant sur la hauteur, et la dernière éclaircie se basera sur la surface terrière dans l'objectif de production de biomasse. Quant aux caractéristiques de forme, les valeurs de l'héritabilité génotypique sont généralement faibles ne permettant pas de les considérer comme de bons critères de sélection, ces caractéristiques ne sont pas donc liées avec les génotypes. Mais la corrélation positive avec les caractéristiques de croissance permet quand même une certaine possibilité d'amélioration de la forme à partir des sélections effectuées sur la croissance. On peut espérer un certain compromis entre la forme et la production pour une diversification d'usage des produits (bois énergie et bois de service). L'étude de la variabilité montre que les caractères de croissance présentent une forte

variabilité que ce soit à l'intérieur ou entre les provenances. Mais la variabilité intraprovenances est plus importante. Ce qui justifie l'importance des gains apportés par les sélections intraparcellaires (intraprovenances) adoptées pour les vergers. Ces sélections intraparcellaires permettront donc d'obtenir des gains plus importantes que ceux qu'on aurait obtenus en effectuant des sélections interprovenances.

Le classement des provenances est caractérisé par une nette distinction entre les provenances d'origine Australienne Nord de Queensland et celles de Papouasie Nouvelle Guinée. Conformément à ce qu'on peut observer dans tous les autres pays d'introduction, les provenances de Papouasie Nouvelle Guinée sont les plus intéressantes du point de vue croissance. Le groupe élite est constitué principalement par les provenances Mai Kussa River (94/10223N), Wemenever Province (94/10219N), Arufi (95/10275N). Ce groupe ne s'écarte pas trop des autres provenances de Papouasie Nouvelle Guinée qui peuvent être retenues pour la région.

A notre avis, il n'y a pas vraiment de provenances à proscrire, même celles qui semblent les plus mauvaises comme celles de Queensland notamment Jardine River Bamanga (95/10270N), SE of Townsville, Chili Beach (95/10273N), 10 Km of Musgraves, Shoteel LA et certaine Papouasie Nouvelle Guinée comme Boite (87/6776N). D'une part l'élimination des provenances de Queensland peut réduire la base génétique et d'autre part, même si ces provenances montrent une croissance plus lente, elles ont quand même un certain avantage d'être plus résistantes aux dégâts cycloniques. Ces faits permettent de dire que la sélection intraprovenance appliquée jusqu'ici est justifiée. Si une priorisation devait être faite pour les prochaines importations, il sera judicieux d'éliminer les provenances les plus faibles de chacune des régions de provenance. Pour les provenances de Papouasie Nouvelle Guinée, la provenance Boite n'est pas très intéressante.

En terminant le présent travail, il faut noter que le FOFIFA a passé une étape importante dans le cadre de l'introduction et de l'amélioration de cette espèce. Il a mis en place des structures essentielles pour la diffusion et la promotion de l'espèce, des sources de graines pour la région. Mais comme l'amélioration génétique est un travail de longue haleine, tous les efforts pour arriver jusqu'ici risqueront d'être vains, s'ils ne sont pas valorisés et exploités. Ce n'est donc pas le moment de mettre fin au programme mais plutôt de mettre au point les méthodes et programmes appropriés pour la gestion de ces vergers que ce soit par le FOFIFA lui-même ou par d'autre institution compétente comme le Silo National des Graines Forestières.

-BIBLIOGRAPHIE-

- 1- BERGONZINI J.C (1995). Analyse et planification des expériences - Les dispositifs en blocs. MASSON Paris Milan Barcelone 1995, 353p.
- 2- BERNHARD F. et al (1993). Biomasse, minéralomasse et productivité en plantation d'*Acacia mangium* et d'*Acacia auriculiformis* au Congo. Bois et Forêts des Tropiques - CIRAD-Forêts - n° 238 - p 35-44.
- 3- BOUVET J. M. (1989). Introduction d'Acacias Australiens sur les hauts plateaux malgaches: Analatsara, Manankazo, Lac Alaotra. CENRADERU/DRFP - Note interne n° 619, 28p.
- 4- BOUVET J. M. - ANDRIANIRINA G. (1989). Amélioration génétique des feuillus exotique à Madagascar Bilan et perspectives pour les cinq prochaines années. CENRADERU/DRFP - Note interne n° 613.
- 5- CABARET N. (1988). Essais comparatifs de provenances : *Acacia crassicarpa*, *Acacia mangium*, *Acacia auriculiformis*. IHRO - Port Bouet - Note interne du CTFT Côte d'Ivoire
- 6- CARSUZA S. (1994). Etudes de performances d'Acacias Australiens à Madagascar. Mémoire de fin d'études Institut Supérieur Technique d'Outre- Mer. 111p.
- 7- DAGNELIE P. (1975). Théorie et méthode statistiques: Applications agronomiques. Les Presses Agronomiques de Gembloux, A.S.B.L - Belgique - Volume 2, 463p
- 8- DEF, DFS, Entreprise d'Etude et de développement rural "Mamokatra", FTM (1996). Inventaire Ecologique Forestier National (IEFN): situation de départ, problématique. résultats, analyse et recommandation. 145 p.
- 9- DOMMERGUES Y. (1990). Rapport de mission effectuée à Madagascar du 9 au 17 décembre 1989. Laboratoire de biotechnologie des systèmes symbiotiques Forestiers tropicaux (BSSFT) (Laboratoire commun ORSTOM/CTFT-CIRAD).18p
- 10- F.A.O (1985). Amélioration génétique des arbres forestiers. Compte rendu du cours de formation F.A.O./DANIDA sur l'amélioration génétique des arbres forestiers. Etude F.A.O. Forêts N°20 - Rome, 312p.
- 11- F.A.O. (1990). Ressource génétique forestière, revue n°12.
- 12- FOFIFA - DRFP- Cirad-forêt (1996). Cadre des activités du projet création des vergers à graines d'espèces forestières: objectifs et situation. FOFIFA/DRFP/Cirad-forêt - Projet FED 6 ACP MAG 84, 5p.
- 13- Projet "Création verger à Graine forestière" (1995). Note de mise en place des vergers à graines installés en 1995. FOFIFA/DRFP Note n°720, 9 p.
- 14- GOUET J.P. et PHILIPPEAU G. (1989). Comment interpréter les résultats d'une analyse de variance?. STAT- ITCF.
- 15- HARMAND J. M. (1998). Rôle des espèces ligneuses à croissance rapide dans le fonctionnement biogéochimique de la jachère. Effet sur la restauration de la fertilité des sols ferrugineux tropicaux. (Bassin de la Bénouée - Nord Cameroun). CIRAD-Forêt, volume I.
- 16- LEBOT V. (1994). Le programme d'amélioration génétique des feuillus exotiques destinés aux reboisements à Madagascar. Projet FED 6 ACP MAG 84 - FOFIFA/Cirad-forêt, 247p.
- 17- LEBOT V. (1996). L'amélioration génétique des feuillus exotiques à Madagascar. MICAP/CIRAD- Projet FED 6 ACP MAG 84 - FOFIFA/Cirad-forêt - DRFP note n°716, p21-36.
- 18- MARION S. (1981). *Acacia of Australia*. Thomas Nelson Australia- Melbourne Victoria 3000. 325 p.

- 19- NANSON A. (1970). L'héritabilité et le gain d'origine génétique dans quelques types d'expérience. Station de recherche des Eaux et Forêts Groenendael- Hoeilaart (Belgique) p113-121.
- 20- NANSON A. (1974). Génétique et amélioration des arbres forestières. Station de recherche des Eaux et Forêt Groenendael Hoeilaart. 5 (Belgique).
- 21- NFTA (1990). Nitrogen fixing tree research reports, vol 8, P.O. 680, Waimanalo, Hawaii 96795, USA 190 p.
- 22- RANAIVOSON L. (1989). Test de provenances d'*Eucalyptus grandis* à Madagascar. Mémoire de DEA - E.E.S.Sciences, 38p.
- 23- RANAIVOSON L. (1993). *Eucalyptus robusta* S M : étude de l'amélioration génétique à Madagascar. Thèse de doctorat ingénieur en science agronomique. 213p.
- 24- RAZAFIMAHARO V. (1996). Rapport annuel Campagne 1995 : "Acacia" "Casuarina". Projet FED ACP 6 MAG 84 /FOFIFA - Cirad-forêt, 29p.
- 25- SOUVANNAVONG O. - CREMIERE L (1986). Récolte de provenances d'Acacia dans le Nord du Queensland (Australie). Centre Technique Forestier Tropical - Département du CIRAD, 15p.
- 26- THOMSON L. A. J. (1994). *Acacia aulacocarpa*, *A.cincinnata*, *A.crassicarpa*, and *A. watsonsis*: an anotated bibliography. C.S.I.R.O. Australia- Division of forestry Australian Tree seed center, Canberre Australia. 131p.
- 27- TURNBULL J. W. (1986). Multipurpose Australian Tree and Shurbs-Lesser known species for feulwood and agroforestry. Australian Center For International Agricultural research.
- 28- VESSEREAU A. (1988). Méthodes statistiques en biologie et agronomie. CERESTA- Techniques et Documentation (Lavoisier), Paris Cedex - 2è édition, 538p.
- 29- Peter G., Von Carlowitz, GregorV. Wolf and Peter kemperman. "The multipurpose tree and Shurb Data base". ICRAF - GTZ Version 901117.

DOCUMENTS INEDITS

- LESPAGNE C. (1996). Statistiques Appliquées. Support de cours en Statistiques Appliquées enseigné en 3^{ème} année à l'ESSA/Forêt.
- RAKOTOVAO G. (1997). Technologie du bois. Support de cours de Technologie de bois - 4è année ESSA/Forêts.
- RANAIVOSON L. (1997). Génétiques forestières. Support de cours en génétique forestière enseigné en 4^{ème} année à l'ESSA/Forêt.

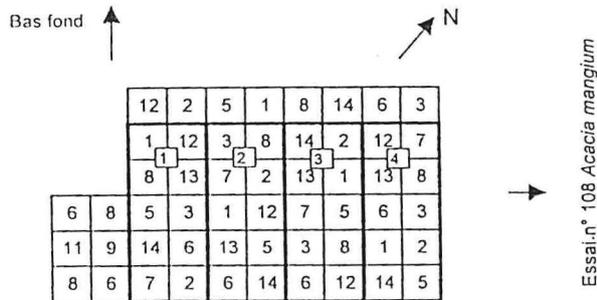
ANNEXES

ANNEXE 1

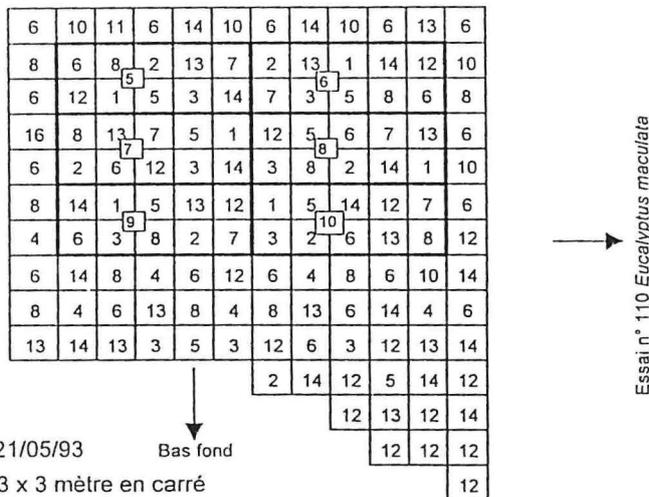
Plans des essais n°109, 132, 161

Essai n° 109 : Vergers à graines d'amélioration de provenances d'*Acacia crassicaarpa*

STATION DE MAHAELA



Route



Plantation : 21/05/93
 Ecartement 3 x 3 mètre en carré
 Terrain 2 fois labouré, plantation sans engrais
 Dispositif en blocs complets (10)
 Unité expérimentale de 9 plants (3 x 3)
 Parcelles de 9 plants en bordures
 Surface : 1ha 52a 28ca
 [9] Numéro de bloc

N°	N° lot	Provenance	Pays	Long	Lat	Alt	Nbsem
1	813368 N	7 km Daintree	Australie Qld	145° 22'E	16° 16'S	50	10
2	876786 N	Wenever	Papouasie Ng	141° 26'E	8° 51'S	30	10
3	844608 N	Mata	Papouasie Ng	141° 45'E	8° 40'S	30	10
4	888149 N	Oriomo River	Papouasie Ng	143° 10'E	8° 50'S	20	11
5	844610 N	Woroi Wimpi	Papouasie Ng	143° 00'E	8° 49'S	20	15
6	876776 N	Boite	Papouasie Ng	142° 00'E	8° 40'S	30	10
7	876923N	10 km S Musgrave	Australie Qld	143° 30'E	14° 52'S	67	10
8	876924 N	SE Townsville	Australie Qld	147° 01'E	19° 23'S	15	10
9	898786 N	Gubam village Wp	Papouasie Ng	141° 55'E	8° 37'S	25	10
10	898816 N	Bimadebum village Wp	Papouasie Ng	141° 55'E	8° 37'S	25	10
11	898838 N	Mai Kusa river Wp	Papouasie Ng	142° 03'E	8° 52'S	15	10
12	898848 N	Dimisisi village Wp	Papouasiè Ng	141° 13'E	8° 31'S	50	10
13	898858 N	Mai Kusa river Wp	Papouasie Ng	141° 30'E	8° 30'S	30	5
14	919141 N	Tokwa W Morehead W	Papouasie Ng	141° 32'E	8° 42'S	30	10

Essai n° 132 : Verger à graines d'amélioration de provenances - *Acacia crassicarpa*

AMPITABE

14
10 1
17

Plantation : le 13-02-95

Ecartement : 3 x 3 m en carré

Terrain deux fois labouré en 2 jours

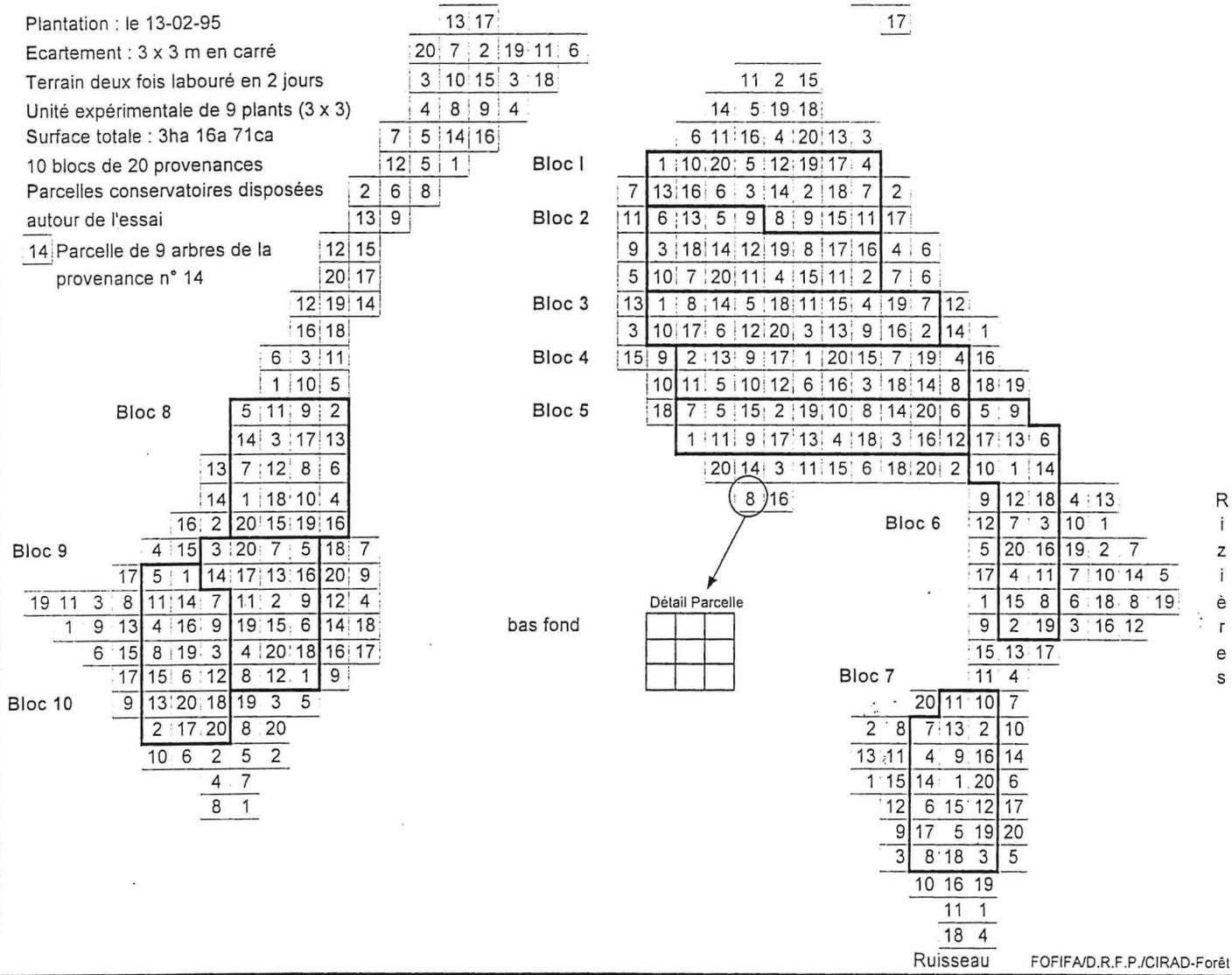
Unité expérimentale de 9 plants (3 x 3)

Surface totale : 3ha 16a 71ca

10 blocs de 20 provenances

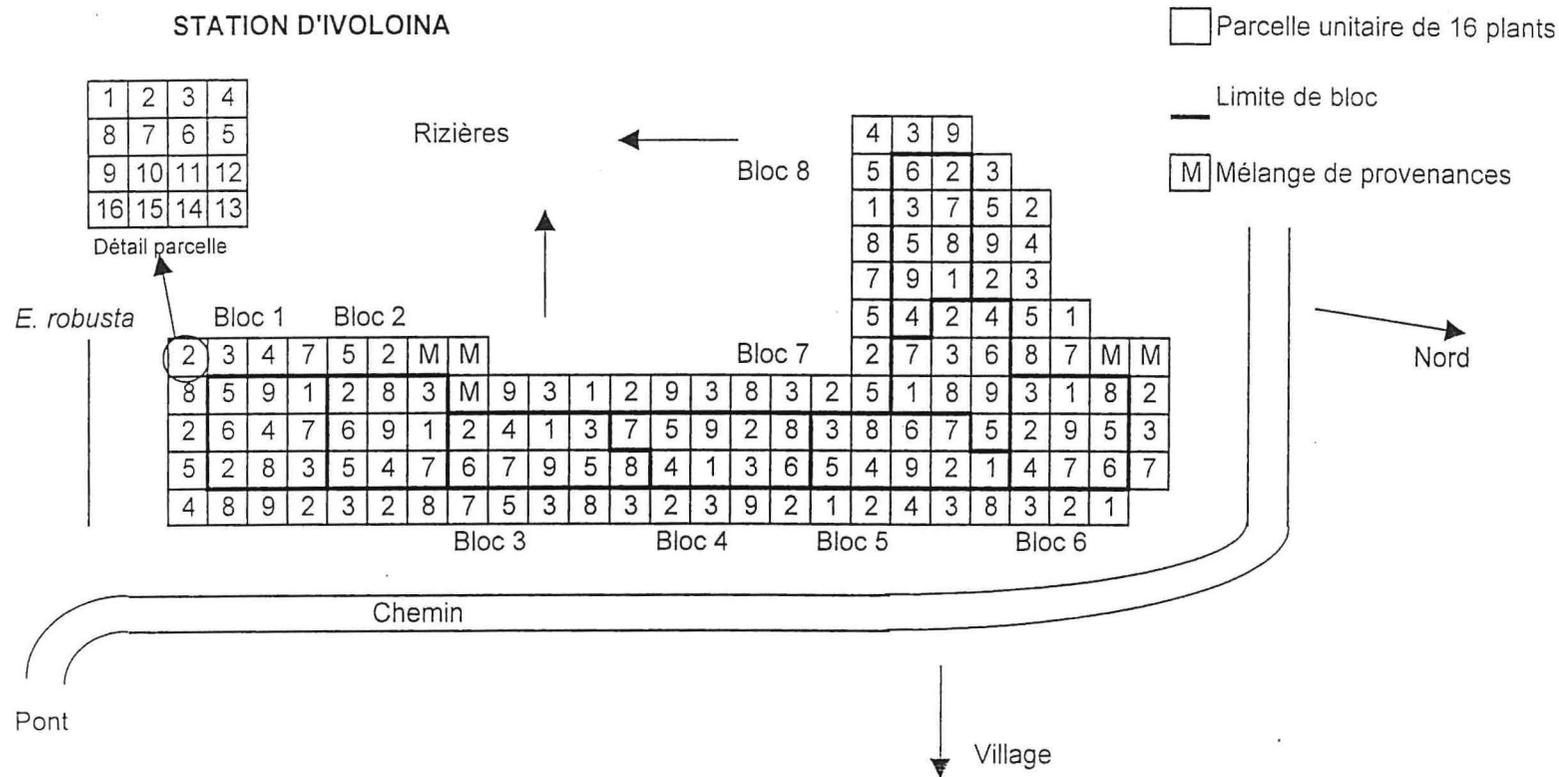
Parcelles conservatoires disposées
autour de l'essai

14 Parcelle de 9 arbres de la
provenance n° 14



Essai n° 161 : Verger à graines d'amélioration de provenances d'*Acacia crassicarpa*

STATION D'IVOLOINA



Trt	N° de lot	Origine	Pays	Longit.	Latitude	Altitu.	Nb sem.
1	9109141N	Tokwa W Morehead Wp	Papouasie NG	141°32'E	8°42'S	30	10
2	9510267N	Bensbach Wp	Papouasie NG	141°17'E	8°53'S	25	49
3	9510268N	Kapal-Oriomo	Papouasie NG	143°03'E	8°52'S	30	50
4	9510270N	Jardine River-Bamaga	Australie Qld	142°22'E	11°02'S	20	15
5	9510271N	Bensbach WP	Papouasie NG	141°17'E	8°53'S	25	35
6	9510272N	Tokwa W Morehead Wp	Papouasie NG	141°32'E	8°42'S	30	10
7	9510273N	Chilli Beach	Australie Qld	143°23'E	12°38'S	3	10
8	9510274N	Dimisisi Village Wp	Papouasie NG	142°13'E	8°31'S	50	65
9	9510275N	Arufi	Papouasie NG	141°55'E	8°43'S	25	50

Dispositif en blocs complets
 8 blocs de 9 provenances
 Plantation : 10/11-09-96
 Surface : 0ha 91a 52ca
 Travail du sol : dégagement manuel et trouaison de 60x60x40cm
 (labour effectué en 1994 et terrain abandonné)
 Ecartement 2 x 2 mètre en carré
 Parcelle unitaire 16 plants (4 x 4)
 Arrosage à la plantation
 3 Parcelle de 16 arbres de la provenance n° 3

ANNEXE 2

Exemple de fiche de relevé pour les inventaires annuels

Essai n°:

Effectué par:

Date:

B	T	A	Htot	Ca	Ra	Cb	Rb	Cc	Rc	Cd	Rd	Ce	Re	F	Fl	Fr	Obs

B: numéro du bloc

T: numéro du traitement

A: Numéro de l'arbre

Htot: hauteur total

Ca à Cn: circonférence à 1.30 m de chaque brins

Ra à Rn: rectitude de chaque brins

F: fourchaison

Fl: floraison

Fr: fructification

Obs: Observation éventuelle

ANNEXE 3

Données climatiques des stations d'études :

1- Région de Tamatave :

Pluviométrie mensuelle (mm) de 1992 à 1997.

Années	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
1992	442.0	792.4	408.5	281.9	151.9	2733	1713	1416	1198	396	1128	1092
1993	105.2	649.2	300.5	646.6	270.4	233.0	2444	142	999	1084	882	1950
1994	265.1	398.2	102.3	216.3	388.7	183.6	2627	1921	967	583	246	2486
1995	485.8	169.6	214.6	308.3	313.3	912	1208	1124	1437	1006	674	3155
1996	455.1	776.9	223.3	360.4	432.0	225.9	1961	1076	615	515	162	2857
1997	575.5	560.8	367.2	201.4	275.6	298.4	2663	1440	664	2539	1383	1214
Moyenne	388,1	557,9	269,4	335,8	305,3	217,6	210,3	118,7	98,0	102,1	74,6	212,6

Source : Service météorologique Ampandrianomby

Température moyenne mensuelle (°C) de 1992 à 1997.

Années	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
1992	26.8	26.4	26.4	24.9	28.3	21.5	20.8	20.3	21.0	22.7	24.7	25.1
1993	26.7	26.4	25.9	25.0	24.1	21.5	20.6	20.4	20.8	22.4	24.4	25.3
1994	26.2	27.3	25.8	25.4	23.7	21.7	21.6	21.5	21.3	46.9	23.6	25.4
1997	26.6	26.4	26.4	25.4	24.2	22.5	21.2	21.3	22.1	22.7	25.3	26.4
1995	26.5	26.8	26.1	25.3	23.0	21.6	21.2	21.4	22.2	23.0		
Moyenne	26,6	26,7	26,1	25,2	24,7	21,8	21,1	21,0	21,5	27,5	24,5	25,55

Source : Service météorologique Ampandrianomby

2- Région de Brickaville :

Données climatiques de la région de Brickaville de 1990 à 1994

Année	Caractères	Janv	fev	Mars	Avril	Mais	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	
1990	P		67,6	132,4	74,5	374,6	212,1	138,2	112,5	56,0	41,0	37,7	50,4	217,9
	Tx		31,3	29,5	29,6	28,1	27,7	24,8	24,4	23,9	25,2	28,3	29,7	30,9
	Tn		2,2	19,4	19,4	18,4	16,3	14,6	13,4	13,1	14,2	15,6	16,9	18,0
	T		25,7	24,4	21,5	23,2	22,0	19,7	18,9	18,5	19,7	21,9	23,3	24,4
1991	P		318,4	481,0	448,9	569,1	61,1	127,8	135,4	105,5		97,2	54,7	451,2
	Tx		31,2	30,8	29,7	27,6	27,1	25,7	24,2	24,1		28,8	29,1	29,9
	Tn		19,9	19,9	20,4	19,7	17,2	14,5	14,4	13,8		17,1	18,6	18,8
	T		25,5	25,3	25,0	23,6	22,1	20,1	19,3	18,9		22,9	23,8	24,3
1992	P		323,2	698,0	261,6	180,5	233,0	185,7	124,7	106,9	66,8	30,0	93,5	53,6
	Tx		31,1	30,2	30,1	29,2	27,7	26,2	24,3	25,3	21,0	28,4	28,9	31,4
	Tn		20,1	20,3	19,8	19,2	17,1	15,3	13,6	14,5	15,4	16,1	18,4	
	T		25,6	25,2	24,9	24,2	22,4	20,7	18,9	19,9	21,2	22,2	23,6	
1993	P		52,0	497,7	454,3	310,9	103,6	209,9	140,9		53,2	105,2		125,4
	Tx		33,4	31,5	29,6		29,0	26,3	23,5		25,3	29,3		30,9
	Tn		20,0	19,1	18,6		17,3	14,1	13,5		13,9	14,5		18,0
	T		26,7	25,3	24,1		23,1	20,2	18,5		19,6	20,9		24,4
1994	P		628,1	472,6	104,2	276,2	310,9	141,1	259,8	177,1	68,4	62,7	42,9	22,9
	Tx		30,5	31,0	30,1									
	Tn		20,0	20,0	19,8									
	T		25,2	25,5	24,9									

Source : Service Météorologique Ampandrianomby

ANNEXE 4

Type de Programme d'analyse sur SAS

1- Transformation des données

```
FILENAME e132 '132a.dbf';
PROC DBF DB4=e132 OUT=donnees;
RUN;

Data donA;
  Set donnees;
  IF h40=0 Then delete; amah40=12*h40/40; amag40=12*g40/40;
  Keep b t a h40 g40 amag40 amah40 ; Run;

Proc sort data=donA;
by b t;run;

proc means data=donA noprint;by b t;
var h40 amah40 g40 amag40 ;
output out=donB mean=mbh40 mamah40 mg40 mamaq40 ;
run;

proc sort DATA=donB;
by b t;run;
```

2- Analyse de variance et comparaison multiple des moyennes

```
PROC GLM DATA=donB;
CLASS b t;
MODEL mh40 mamah40 mg40 mamaq40 =b t; MEANS b t / SNK alpha=0.05;
RUN;
```

3- Calcul des coefficients de variation par traitement ajustés de l'effet bloc

```
Proc means data=donA NOPRINT;
by b;
VAR h40 g40 amag40 amah40;
output out=donC MEAN=mbh40 mbamh40 mbg40 mbamg40; RUN;

Proc means data=donA NOPRINT;
VAR h40 g40 amag40 amah40;
output out=donD MEAN=mgh40 mgamh40 mgg40 mgamg40; RUN;

Proc print DATA=donD;
run;

DATA donA1;
MERGE donA donC;By b;RUN;

DATA donA2;
MERGE donA1 donD;By _type_;RUN;

DATA donA3;
SET donA2;
xH40=mgh40-mbh40; aH40=xH40+H40;
xAMH40=mgAMH40-mbAMH40; aAMH40=AMAH40+xAMH40;
xG40=mgG40-mbG40; AG40=xG40+G40;
xAMG40=mgAMG40-mbAMG40; aAMG40=AMAG40+xAMG40;
KEEP b t ah40 aamh40 ag40 aamg40; RUN;

Proc sort DATA=donA3;
By b t;RUN;

PROC SORT DATA=donA3;
By t;RUN;

PROC MEANS DATA=donA3 NOPRINT;
By t;
VAR ah40 aamh40 ag40 aamg40;
```

```
OUTPUT OUT=donA4 CV=cvh40 cvanh40 cvq40 cvmg40  
MEAN=mlh40 mlamh40 mtg40 mtamg40; RUN;
```

```
PROC PRINT DATA=donA4;  
RUN;
```

4- Calcul du gain

```
DATA don1 ; set donnees;  
IF g29=0 or g40=0 then delete; y29=1;  
Keep y29 h29 g29 ; RUN;
```

```
PROC MEANS DATA=don1 noprint;  
VAR h29 g29;  
OUTPUT OUT=moye1 mean=mlh29 mlG29; RUN;
```

```
DATA don2; set donnees;  
IF g29=0 then delete; y29=2 ;  
Keep y29 h29 g29; RUN;
```

```
PROC MEANS DATA=don2 noprint;  
VAR h29 g29;  
OUTPUT OUT=moye2 mean=m2h29 m2G29; RUN;
```

```
DATA don3; set don1 don2; RUN;
```

```
proc sort data=don3; by y29; RUN;
```

```
PROC GLM DATA=don3;  
CLASS y29;  
MODEL h29 g29=y29; Means y29 / SNK alpha=0.05; RUN;
```

```
DATA don4; merge moye1 moye2; RUN;
```

```
DATA don5; set don4;  
Ph29=(mlh29-m2h29)*100/m2h29;  
Pg29=(mlG29-m2G29)*100/m2G29;  
Keep Ph29 Pg29; RUN;
```

```
PROC PRINT DATA=don5; RUN;
```

5- Test de KHI-2: cas de la floraison

```
Data donP; set donnees;  
IF g40=0 then delete; a=1;  
keep b t a FL Fr; run;
```

```
proc sort data=donP;  
by t FL; run;
```

```
proc means data=donP noprint;  
by t FL;  
Var a ;  
output out=donP2 sum=sa ; run;
```

```
PROC FREQ DATA=donP2;  
Table t*FL/Chisq; Weight sa; run;
```

6- Corrélation entre les caractères

```
Proc corr data=donG csscp cov nosimple;  
Var H40 G40 V40 NB40 PBF BD; run;
```

7- Régression linéaire entre Poids et Surface terrière"

```
FILENAME pes 'pes109.dbf';  
PROC DBF DB3=pes OUT=pesa;  
RUN;
```

```
PROC GPLOT DATA=pesa;  
SYMBOL1 c=red v=star i=none;
```

```
PLOT poids*G130;  
RUN;
```

```
PROC REG DATA=pesa;  
MODEL poids=G130 / selection=stepwise;  
OUTPUT OUT=predict  
P=val_pred  
R=residu  
L95=min_pred  
U95=max_pred  
L95M=min0  
U95M=max0;
```

```
PROC GPLOT DATA=predict;  
PLOT (Poids val_pred min_pred max_pred)*g130 / overlay;
```

```
SYMBOL1 c=blue v=star i=none;SYMBOL2 c=red v=point i=join;  
SYMBOL3 c=green v=point i=none;SYMBOL4 c=magenta v=point i=none;RUN;
```

ANNEXE 5

Type de résultats d'analyse sorties par le logiciel SAS

1- Resultats d'analyse de la variance

General Linear Models Procedure
Class Level Information

Class	Levels	Values
B	10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
T	20	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

Number of observations in data set = 197

Dependent Variable : SG13

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	182.0890966	6.5031820	7.25	0.0001
Error	168	150.5949949	0.8963988		
Corrected Total	196	332.6840916			
	R-Square	C.V.	Root MSE	SG13 Mean	
	0.547333	30.18896	0.946783	3.13619101	

Dependent Variable : SG13

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
B	9	43.1804129	4.7978237	5.35	0.0001
T	19	138.9086838	7.3109834	8.16	0.0001
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
B	9	44.0089622	4.8898847	5.46	0.0001
T	19	138.9086838	7.3109834	8.16	0.0001

2- Classement des moyennes par bloc selon Student - Newman Keuls

Student-Newman-Keuls test for variable : SG13

NOTE: This test controls the type I experimentwise error rate under the complete null hypothesis but not under partial null hypotheses.

Alpha= 0.05 df= 168 MSE= 0.896399

Harmonic Mean of cell sizes= 19.68912

Number of Means 2 3 4 5 6
Critical Range 0.5957162 0.7135574 0.7830306 0.8321301 0.8699257

Number of Means 7 8 9 10
Critical Range 0.9005322 0.9262332 0.948313 0.967642

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	B
A	4.249	20	7
B	3.587	20	6
B	3.415	19	10
B	3.194	19	9
B	2.910	20	4
B	2.890	20	3
B	2.849	20	1
B	2.833	20	8
B	2.781	19	2
B	2.653	20	5

3- Classement des moyenne par traitement selon Student Newman Keuls

Student-Newman-Keuls test for variable : SG13

NOTE: This test controls the type I experimentwise error rate under the complete null hypothesis but not under partial null hypotheses.

Alpha= 0.05 df= 168 MSE= 0.896399

Harmonic Mean of cell sizes= 9.822647

Number of Means	2	3	4	5	6
Critical Range	0.8434091	1.0102475	1.1086071	1.1781216	1.2316322
Number of Means	7	8	9	10	11
Critical Range	1.2749647	1.3113518	1.3426122	1.369978	1.3942862
Number of Means	12	13	14	15	16
Critical Range	1.4161316	1.4359823	1.4540951	1.470775	1.4862238
Number of Means	17	18	19	20	
Critical Range	1.500605	1.5140536	1.5266813	1.538582	

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	T	
A	4.336	10	19	
A	4.189	10	18	
A	4.023	8	10	
A	3.994	10	20	
A	3.915	10	16	
B	A	3.500	10	9
B	A	3.483	10	8
B	A	3.469	10	17
B	A	3.375	10	14
B	A	3.272	10	4
B	A	3.271	10	7
B	A	3.156	10	6
B	A	3.095	10	5
B	A	3.012	10	11
B	A	2.968	10	13
B	A	2.962	9	1
B	C	2.416	10	12
C		1.631	10	2
C		1.424	10	15
C		1.392	10	3

4- Moyenne générale

OBS	TYPE	FREQ	MSG13
1	0	197	3.13619

5- Coefficient de variation et moyenne par traitement

OBS	T	TYPE	FREQ	CTSG13	MTSG13
1	1	0	9	20.8860	2.92239
2	2	0	10	31.9394	1.63133
3	3	0	69	45.2116	3.83127
4	4	0	97	34.2640	3.94941
5	5	0	100	34.6402	3.90448
6	6	0	99	34.5005	3.91939
7	7	0	99	33.9899	3.93802
8	8	0	100	33.6530	3.94328
9	9	0	96	34.3067	3.95468
10	10	0	89	22.9173	3.32494
11	11	0	109	36.6943	3.82562
12	12	0	97	37.9976	3.84699
13	13	0	98	34.9013	3.90959
14	14	0	98	33.5051	3.91764
15	15	0	96	41.5943	3.71077
16	16	0	108	36.0688	3.82738
17	17	0	100	33.5360	3.94188
18	18	0	99	32.6967	4.02416
19	19	0	109	35.3853	3.88984
20	20	0	118	35.6422	4.37865

ANNEXE 6

Resultats des analyses de variance pour les différents caractères de tous les essais

I- Résultats des analyses de variance de l'essai n°109

I.1- Variable : H61

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	9	1607236.6	178581.8	12.84	0.0001	
Traitement	9	848700.1	94300.0	6.78	0.0001	
Résidus	79	1099037.7	13911.8			9.83
Total	97	3474842.1				

I.2- Variable : AMAH61

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	9	62198.8	6910.9	12.20	0.0001	
Traitement	9	32844.0	3649.3	6.78	0.0001	
Résidus	79	42531.9	538.3			9.830094
Total	97	134473.8				

I.3- Variable : G61

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	9	513488.8	57054.3	5.23	0.0001	
Traitement	9	1239251.3	137694.5	12.63	0.0001	
Résidus	81	882991.2	10901.126			23.47620
Total	99	2635731.4				

I.4- Variable : AMAG61

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	9	19871.6	2207.9	5.23	0.0001	
Traitement	9	47958.1	5328.6	12.63	0.0001	
Résidus	81	34171.1	421.86568			23.47620
Total	99	102000.8				

I.5- Variable : SG61

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	9	311.2	34.5808467	4.85	0.0001	
Traitement	9	737.78	81.9757811	11.50	0.0001	
Résidus	81	577.458734	7.129120			24.45385
Total	99	1626.4683				

I.6- Variable : SP61

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	9	10272.5	1141.3	4.93	0.0001	
Traitement	9	24432.2	2714.6	11.72	0.0001	
Résidus	81	18765.6	231.67416			28.82134
Total	99	53470.4				

I.7- Variable : V

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	9	14396.7170	1599.63522	4.11	0.0002	
Traitement	9	30009.5247	3334.39164	8.56	0.0001	
Résidus	79	30757.3622	389.33370			34.79086
Total	97	74109.8019				

I.8- Variable : AMAV

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	9	557.142502	61.904722	4.11	0.0002	
Traitement	9	1161.34683	129.038537	8.56	0.0001	
Résidus	79	1190.28760	15.066932			34.79086
Total	97	2867.99555				

I.9- Variable : NB61

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	9	2.240	0.24888889	0.46	0.8950	
Traitement	9	10.09	1.12111111	2.09	0.0401	
Résidus	81	43.5	0.53			28.85
Total	99	55.8				

1.10- Variable : PBD

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	9	5304.05	589.33947	1.07	0.3941	
Traitement	9	14339.8	1593.31780	2.89	0.0051	
Résidus	81	44631.7	551.00906			84.1
Total	99	64275.6				

1.11- Variable : PBE

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	9	5304.05	589.3	1.07	0.3941	
Traitement	9	14339.8	1593.3	2.89	0.0051	
Résidus	81	44631.7	551.01			32.55
Total	99	64275.6				

1.12- Variable : PBF

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	9	5674.8	630.541551	1.15	0.3381	
Traitement	9	4694.4	521.601642	0.95	0.4861	
Résidus	81	44402.7	576.07160			71.68027
Total	99	54772.0				

2- Résultats des analyses de variance de l'essai n°132

2.1- Variable : H40

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	9	2536610.06	281845.562	21.61	0.0001	
Traitement	19	1587082.13	83530.639	6.40	0.0001	
Résidus	167	2177995.9	13041.89			9.042526
Total	195	6301688.1				

2.2- Variable : AMAH40

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	9	229230.5	25470.05	21.70	0.0001	
Traitement	19	142837.4	7517.75	6.40	0.0001	
Résidus	167	196019.6	1173.77			9.042526
Total	195	567151.9				

2.3- Variable : G40

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	9	221753.15	26134.3822	7.07	0.0001	
Traitement	19	800203.9	42115.9964	11.39	0.0001	
Résidus	167	617327.26	3696.570			20.63952
Total	195	1639284.3				

2.4- Variable : AMAG40

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	9	21168.8	2352.1	7.07	0.0001	
Traitement	19	72018.3	3790.4	11.39	0.0001	
Résidus	167	55559.4	332.7			20.63952
Total	195	147535.6				

2.5- Variable : SG40

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	9	107.994	11.999	3.47	0.0006	
Traitement	19	504.513	26.553	7.67	0.0001	
Résidus	167	578.1	3.461			25.768
Total	195	1182.774				

2.6- Variable : SP40

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	9	3566.26579	396.25175	4.11	0.0001	
Traitement	19	15620.0878	822.10989	8.53	0.0001	
Résidus	167	16092.8630	96.36445			30.49341
Total	195	35034.6838				

2.7- Variable : V

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	9	9157.24665	1017.47185	12.13	0.0001	
Traitement	19	17507.9520	921.47116	10.99	0.0001	
Résidus	167	14006.0913	83.86881			24.07070
Total	195	40312.5299				

2.8- Variable : AMAV

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	9	824.152199	91.572467	12.13	0.0001	
Traitement	19	1575.71568	82.932404	10.99	0.0001	
Résidus	167	1260.54822	7.548193			24.07070
Total	195	3628.12769				

2.9- Variable : NB40

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	9	7.63255868	0.84806208	2.70	0.0058	
Traitement	19	7.15185693	0.37641352	1.20	0.2640	
Résidus	167	52.4	0.314			28.1
Total	195	67.4				

2.10- Variable : PBD

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	9	97853.4845	10872.60939	14.77	0.0001	
Traitement	19	19141.4471	1007.44459	1.37	0.1486	
Résidus	167	122920.118	736.0486			46.06
Total	195	240373.599				

2.11- Variable : PBE

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	9	97853.4845	10872.60939	14.77	0.0001	
Traitement	19	19141.4471	1007.44459	1.37	0.1486	
Résidus	167	122920.118	736.0486			66.011
Total	195	240373.599				

2.12- Variable : PBF

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	9	39464.253	4384.91700	7.29	0.0001	
Traitement	19	15736.556	828.23982	1.38	0.1442	
Résidus	167	100439.9	601.43658			87.535
Total	195	156121.39				

3- Résultats des l'analyses de la variance pour l'essai n°161

3.1- Variable : H21

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	7	100771.057	14395.8654	4.63	0.0005	
Traitement	8	80919.0240	10114.8780	3.26	0.0051	
Résidus	46	142912.722	3106.7983			6.102683
Total	61	324961.794				

3.2- Variable : AMAH21

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	7	32904.8351	4700.69074	4.63	0.0005	
Traitement	8	26422.5384	3302.81731	3.26	0.0051	
Résidus	46	46665.3786	1014.46475			6.102683
Total	61	106109.973				

3.3- Variable : G21

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	7	574.128855	82.018408	1.21	0.3137	
Traitement	8	4733.76108	591.720136	8.72	0.0001	
Résidus	56	3802.02459	67.893296			14.36162
Total	71	9109.91453				

3.4- Variable : AMAG21

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	7	187.470646	26.781521	1.21	0.3137	
Traitement	8	1545.71790	193.214738	8.72		
Résidus	56	1241.47741	22.169240			14.36162
Total	71	2971.14095				

3.5- Variable : SG21

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	7	57.5640841	8.2234406	1.95	0.0782	
Traitement	8	322.424213	40.3030267	9.57	0.0001	
Résidus	56	235.862582	4.2118318			15.08619
Total	71	615.850880				

3.6- Variable : SP21

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	7	747.002745	106.714678	1.97	0.0758	
Traitement	8	4147.01975	518.377470	9.56	0.0001	
Résidus	56	3036.01819	54.214611			14.86172
Total	71	7930.04069				

3.7- Variable : V

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	7	7057.95874	1008.27982	1.75	0.1220	
Traitement	8	14164.8800	1770.61000	3.06	0.0075	
Résidus	46	26575.9361	577.73774			32.63684
Total	61	47592.8003				

3.8- Variable : AMAV

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	7	2304.63958	329.234227	1.75	0.1220	
Traitement	8	4625.26695	578.158369	3.06	0.0075	
Résidus	46	8677.85671	188.649059			32.63684
Total	61	15540.5062				

3.9- Variable : NB21

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	7	1.90148177	0.27164025	5.48	0.0001	
Traitement	8	1.35271074	0.16908884	3.41	0.0029	
Résidus	56	2.77510687	0.04955548			10.25952
Total	71	6.02929938				

3.10- Variable : PBD

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	7	4336.97857	619.568368	5.66	0.0001	
Traitement	8	2171.83502	271.479378	2.48	0.0223	
Résidus	56	6127.92951	109.427313			13.52130
Total	71	12636.7431				

3.11- Variable : PBE

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	7	4336.97857	619.568368	5.66	0.0001	
Traitement	8	2171.83502	271.479378	2.48	0.0223	
Résidus	56	6127.92951	109.427313			46.21490
Total	71	12636.7431				

3.12- Variable : PBF

Source de variation	ddl	SCE	CM	Test F	Proba	CVr
Bloc	7	222.558443	31.7940634	3.15	0.0070	
Traitement	8	95.3085950	11.9135744	1.18	0.3269	
Résidus	56	564.895002	10.0874107			97.35128
Total	71	882.762040				

