T 84011
112

REPUBLIQUE DU SENEGAL

MINISTERE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

F0000062

INSTITUT SENEGALAIS DE RECHERCHES AGRICOLES

DEPARTEMENT DES RECHERCHES FORESTIERES ET HYDROBIOLOGIQUES

ETUDE DE LA VARIATION PHENOTYPIQUE ET DU COMPORTEMENT DE DIVERSES PROVENANCES D'EUCALYPTUS CAMALDULENSIS DEHN ET D'EUCALYPTUS MICROTHECA MUELL

MEMOIRE DE CONFIRMATION

PAR

GILBERT DIATTA

CENTRE NATIONAL DE RECHERCHES FORESTIERES

DAKAR/HANN.

"In an infant country, as ours is, we are probably far from possessing, as yet, all of the articles of culture for which nature has fitted our country... to find them will require an abundance of unsuccessful experiments. But if, in a multitude of these, we make one successful acquisation, it repays our trouble".

Thomas JEFFERSON

Avant-Propos

Qu'il me soit donné l'opportunuité d'exprimer ici toute ma gratitude à tous ceux qui, de loin ou de près, ont contribué de manière inestimable à la réalisation de ce travail.

Je voudrais d'abord remercier M. Claude René BAILLY Directeur du Département des Recherches Forestières et Hydrobiologiques pour les critiques et suggestions constructives qu'il a faites. Sa constante disponibilité va "au-delà" des obligations.

Que le Directeur du Centre National de Recherches Forestières (CNRF) trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance pour le soutien logistique et matériel qu'il a toujours su m'apporter aussi bien sur le terrain qu'au cours de la réalisation de ce document,

Mes remerciements vont également à Syaka SADIO et Pape Ndiengou SALL qui ont bien voulu lire le document et faire des suggestions très appréciées.

Une première au CNRF, aura été le traitement informatique des données. En effet les analyses statistiques ont été réalisées sur un ordinateur IBM utilisant le logiciel GENSTAT. Sincère reconnaissance est adressée à MM. KEBE et LALOE respectivement informaticien-chef du bureau calcul, et statisticien au CRODT, pour leur assistance très précieuse et leur constante disponibilité au cours de l'analyse des données à l'ordinateur.

Je ne voudrais enfin terminer sans remercier tous les secrétaires du CNRF pour leur assistance, et avec le sourire, à la réalisation de ce document.

SOMMAIRE.

		Page.
	Avant-Propos	i
	Liste des tableaux	v
	Liste des figures	vi
1	Introduction générale	1
II	Etude bibliographique sommaire sur la stabilité	4
	2-1 Etude bibliographique	5
	2-1-1 Les techniques de regression	6
	2-1-2 L'analyse structurale	7
	2-1-3 Applications des analyses de stabilité en amélioration forestière	7
	2-2 La méthode d'estimation des paramètres de stabilité considérée dans cette étude.	7
	2-2-1 Le coefficient de regression de Finlay et Wilkinson	7
III	Evaluation de l'essai Provenances d'Eucalyptus Camaldulensis Dehn	9
	3-1 Objectifs	10
	3-1-1 Etude de l'adaptabilité et des variations génétiques	11
	3-1-2 Etude de l'interaction génotype x environnement et de la stabilité phénotypique	11
	3-1-3 Etude des correlations entre caractères juvéniles et caractères adultes	11
	3-2 Matérielset méthodes	12
	3-2-1 Le matériel végétal	13
	3-2-1-1 Considérations macroclimatiques de l'aire de distribution	13
	3-2-1-2 Le matériel végétal	13
	3-2-2 Description du site d'essai	15
	3-2-2-1 Le climat	15
	3-2-2-2 Le sol	15
	3-2-3 Dispositif expérimental	15
	3-2-4 Analyse statistique des données	15
	3-2-4-1 Estimation des sources de variation et des variances	15
	3-2-4-2 Comparaison des proveances	18
	3-2-4-3 Etude de la stabilité des provenances	18
	3-2-4-4 Estimation des coefficients de correlation phénotypiques entre caractères juvéniles et caractères adultes	18

3-2-5 Variables mesurées 19

3-2-5-1 La croissance en hauteur 19

3-2-5-2 La croissance sur le diamètre 19

3-2-5-3 Le taux de survie 19

3-3 Résultats et discussion 20

3-3-1 Variabilité inter provenance 21

3-3-1-1 Comportement interannuel et stabilité phénotypique de la croissance en hauteur 21

3-3-1 -2 Variabilité du taux de survie 25

3-3-2 Correlations phénotypiques entre caractères juvéniles et caractères adultes 25

3-4 Conclusions. 30

IV Evaluation de l'essai provenance d'Eucalyptus microtheca Muell. 32

4-1 Objectifs de l'essai 33

4-1-1 Etude de l'adaptabilité et de la variabilité 34

4-1-2 Etude des interactions génotype x environnement et de la stabilité des provenances 34

4-1-3 Production de semences amélioréesà court terme et création d'une population de base 35

4-2 Matériels et méthodes 36

4-2-1 Le matériel végétal 37

4-2-1-1 Considérations macroclimatiques de l'aire de distribution 37

4-2-1-2 Origine des semences, élevage des plants et plantation 37

4-2-2 Description des sites d'essai 37

4-2-2-1 Station de Bandia 37

4-2-2-1-1 Le climat 37

4-2-2-1-2 Le sol 39

4-2-2-2 Station de Keur Mactar 39

4-2-2-2-1 Le climat 39

4-2-2-2-2 Le sol 39

4-2-3 Dispositif expérimental 39

4-2-4 Analyse statistique des données 39

4-2-4-1 Analyses de variance pour l'étude de la variation 39

4-2-4-2 Etude de la stabilité 40

4-2-5 Variables mesurées 40

4-2-5-1 Les paramètres de croissance 40

4-2-5-2 Les paramètres d'adaptation 40

4-3 Résultats et discussions 42

4-3-1 Variabi 1 ité inter provenance 43

4-3-1-1 Comportement interannuel et stabilité phénotypique de la croissance en hauteur 43

4-3-l-2 Variabilité interprovenancedu taux de survie 47

4-3-2 Correlations avec la latitude et les précipitations annuelles 47

4-4 Conclusions 49

v Propositions de recherches futures 50

5-l Conservation des ressources génétiques 51

5-2 Sélection individuelle, tests de descendance et création de verger de première génération 52

5-2-l L'héritabilite 52

5-2-2 L'aptitude à la combinaison 53

5-3 Etude de la biologie florale et des processus de fécondation 54

5-4 Hybridations et utilisation de la vigueur hybride ou heterosis 56

5-5 Selection clonale et multiplication végétative 57

5-5-l Le greffage 57

5-5-2 Le bouturage 58

5-5-3 La culture de tissu 58

5-6 Sélection pour une adaptation à des conditions marginales 58

Bibliographie 60

Annexes.

Lis te des tableaux.

Page.

Tableau 1 Analyse de variance basée sur la technique de Finlay et Wilkinson. 8

Tableau 2 Origine des semences d'Eucalyptus camaldulensis 14

Tableau 3 Table d'analyse de variance pour déterminer les différences entre provenances et les effets dus à l'environnement et aux interactions 17

Tableau 4 Tableau d'analyse des produits croisés pour l'estimation des correlations 18

Tableau 5 Analyse de la variance de la croissance en hauteur-variable : accroissement annuel 22

Tableau 6 Analyse de la variance de la croissance en hauteur-variable : accroissements cumulés 23

Tableau 7 Classement des provenances pour les accroissements annuels, les accroissements cumulés sur 7 ans, le taux de survie et les valeurs de coefficients de regression 24

Tableau 8 Analyse de variance du taux de survie 26

Tab 1 eau 9 Correlations phénotypiques entre caractères juvéniles et caractères adultes 27

Tableau 10 Origine des semences et données climatiques du milieu d'origine 38

Tableau 11 Analyse de variance pour déterminer les différences entre provenances et les effets dus aux milieux, environnements et interactions 41

Tableau 12 Analyse de variance de la croissance en hauteur-variable : accroissement annuel 44

Tableau 13 Analyse de variance de la croissance en hauteur-variable : accroissement cumulé 45

Tableau 14 Classement des provenances pour les accroissements annuels, les accroissements cumulés sur 3 ans, le taux de survie et les coefficients de regression 46

Tableau 15 Analyse de variance du taux de survie après la 3e saison hivernale. 48

Liste des figures.

Page.

Figure 1 Courbes des accroissements annuels des 3 meilleures provenances et des 3 moins bonnes 28

Figure 2 Courbes des accroissements cumulés des trois meilleures et trois moins bonnes provenances. 29

1 INTRODUCTION GENERALE

1 INTRODUCTION GENERALE

Le climat soudano-sahélien est caractérisé par l'irrégularité aussi bien pour la quantité que la répartition spatiale et temporelle de la pluviométrie. Cette irrégularité affecte sérieusement le comportement des écosystèmes naturels. La productivité des formations naturelles est dans certains cas fortement réduite voire compromise.

Pour compenser le déficit en bois toujours croissant du Sénégal et freiner l'appauvrissement du patrimoine forestier, il est fait appel à l'usage d'essences exotiques supposées plus productives que les essences locales. Ces introductions devraient permettre d'atteindre les objectifs fixés en matière de politique forestière et qui se résument comme suit :

- satisfaire les besoins de la population des agglomérations urbaines en bois de service, bois de chauffe et charbon de bois ;
- inciter les agriculteurs à produire leurs propres consommations en bois de service, bois de chauffe et charbon de bois ;
- lutter contre la désertification et contre l'érosion sous toutes ses formes ;
- promouvoir une petite industrie du bois.

Le genre Eucalyptus occupe une place prépondérante dans les programmes d'introduction des essences exotiques : plus de 70 espèces d'Eucalyptus, 120 provenances d'Eucalyptus *camaldulensis* DEHN, 30 provenances d'Eucalyptus *microtheca* MUELL. et 20 provenances d'Eucalyptus *tereticornis* Sm. ont été testées depuis 1967, dans différentes stations expérimentales dispersées à travers le Sénégal (GIFFARD, 1969 ; HAMEL, 1981). Nous nous limiterons dans notre étude à faire le point sur les progrès réalisés ou plutôt les résultats, obtenus, pour certains essais, mis en place en 1973 et 1980 avec Eucalyptus *camaldulensis et* Eucalyptus *microtheca* respectivement.

L'obtention de variétés supérieures awvariétés locales, par l'introduction d'exotiques d'autres régions ou zones climatiquement identiques, est atteinte au même titre que si l'on utilisait une des méthodes conventionnelles d'amélioration génétique (ALLARD, 1960). Pour cette raison, l'introduction d'essences exotiques mérite une attention toute particulière dans les programmes d'amélioration génétique. "Provenance" est synonyme "d'origine" ou "source". Un test de provenances est un essai dans lequel des graines sont collectées d'un certain nombre de peuplements (souvent naturels) largement distribués et les plants plantés dans des conditions semblables.

Il est particulièrement important d'entreprendre des tests de provenances lorsque l'on envisage l'utilisation des exotiques dans les futurs travaux d'amélioration. Ces tests sont installés pour des raisons pratiques. Ils permettent en effet de distinguer ou d'identifier les meilleures populations disponibles ou potentielles pour les travaux d'afforestation ou les programmes de selection. Les tests de provenances ne doivent pas pour autant se limiter uniquement à des essences venant des zones très éloignées. Ils peuvent et doivent dans certaines situations être entrepris avec des essences locales ou des populations naturelles dont la sélection naturelle a permis une bonne adaptation, bien que pas parfaite, aux conditions du milieu.

On ne saurait trop insister sur l'importance des plantations comparatives d'espèces et provenances d'une même espèce, qui seront toujours la première étape, et parfois la seule en matière d'amélioration génétique aussi bien pour les cultures annuelles que pour les essences forestières. L'introduction d'essences exotiques est considérée comme une méthode d'amélioration génétique. Les cas d'introduction d'exotiques sont très nombreux et variés et notre intention n'est pas de dresser une liste exhaustive des cas de succès d'introduction de plants. Les cas sont évidemment plus nombreux avec les cultures annuelles qu'avec les arbres forestiers. Citons que la majorité des céréales cultivées aujourd'hui aux Etats-Unis d'Amérique ont été introduites soit d'Amérique tropicale (maîs) , soit d'Asie mineure (blé, orge), soit d'Asie mineure ou d'Afrique du Nord (avoine), soit d'Afrique (sorgho) (ALLARD, 1960). Les cas de succès d'introduction d'exotiques ne sont pas pour autant en reste en foresterie. Le cas le plus populaire reste l'introduction des Eucalyptus dans diverses régions du monde : Brésil 1 052 000 ha plantés, Afrique du Sud 347 464 ha (FAO 1982).
Le pin de Monterey (*Pinus radiata D. Don*) originaire de la péninsule de Monterey en Californie a été extensivement introduit en Nouvelle Zélande, au Chili, en Afrique du Sud, pour ne citer que ceux-là,, où il dépasse de très loin la productivité des essences locales poussant dans les mêmes conditions. Les tests de provenances avec les pins des Caraïbes (*Pinus caribaea Morelet*) bien que pas encore définitivement évalués, portent beaucoup de promesses pour les régions tropicales d'Afrique, d'Amérique du Sud, du Sud Pacifique, d'Australie et de la Zone des Caraïbes (WRIGTH, 1976 ; LEDIG et WHITMORE, 1981).

Pour plusieurs des cas cités plus haut, des variétés commerciales ont été produites. Généralement, les variétés commerciales provenant des introductions ont été développées de trois façons : (1) directement par la multiplication des semences des stocks introduits, (2) en sélectionnant les provenances

les plus performantes et (3) en produisant des hybrides par le biais de croisements contrôlés des exotiques avec des variétés locales bien adaptées (Hyun, 1956 ; ALLARD, 1960 ; HYUN et HONG, 1969 ; HYUN et AHN, 1972 ; WRIGHT, 1976).

En conclusion, nous dirons que l'amélioration des caractères héréditaires des essences forestières doit contribuer à apporter une solution aux multiples problèmes qui se posent au sylviculteur en général et au reboiseur en particulier. Pour reprendre BOUVAREL (1951), cette amélioration peut porter sur trois groupes de qualités :

1. Utilisation au maximum des possibilité du milieu
   - rapidité de croissance,
   - adaptation à des conditions rigoureuses de sol et de climat,
2. Qualités technologiques
3. Résistance aux parasites et maladies

La présente étude s'intéressera surtout au premier point à savoir une utilisation au maximum des possibilités du milieu pour une croissance rapide et une adaptation aux conditions du milieu. A cet effet, les tests de provenances entrepris dans la région devraient permettre d'identifier la ou les provenances qui répondent le mieux à l'objectif assigné. Ces essais peuvent également constituer des populations de base où le sélectionneur pourra aller chercher les gênes responsables des deux autres groupes de qualités cités ci-dessus.

II ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE SOMMAIRE SUR LA STABILITE

2.1 Etude bibliographique

Les intéractions entre le génotype et l'environnement sont un sujet de préoccupation pour le sélectionneur. Les conclusions sur l'héritabilité sont tirées à partir de données sur le phénotype. Le phénotype est en fait le résultat de facteurs génétiques et non-génétiques. En outre, les effets du génotype et de l'environnement ne sont pas indépendants. La réponse phénotypique aux variations de l'environnement n'est pas la même pour tous les génotypes, résultant ainsi en un classement des phénotypes qui diffère d'un milieu à l'autre. Ceci engendre des difficultés qui ne permettent pas souvent de montrer la supériorité de telle ou telle provenance ou variété. Un effet patent de l'intéraction génotype-environnement est la réduction de la corrélation entre le génotype et le phenotype (COMSTOCK et MOLL, 1963). COMSTOCR et MOLL (1963) ont montré statistiquement la réduction des progrès réalisables nar la sélection, réduction causée par les larges intéractions génotype-environnement.

L'objectif premier de la génétique quantitative c'est l'estimation de l'ampleur de la variance (variation) génétique comme base de toute prédiction d'amélioration génétique. Les intéractions entre le génotype et l'environnement affectent considérablement la fiabilité de ces estimations. I1 existe deux possibilités de contourner les conséquences indésirables liées à de tels biais : (i) regrouper les génotypes en fonction de leurs régions d'adaptation optimale (stratification) et (ii> manipuler les dispositifs expérimentaux de manière à minimiser les intéractions. Il y a toutefois des limitations pratiques quant à la possibilité de manipuler les dispositifs. La stratification a été utilisée efficacement dans la réduction de l'intéraction. La région pour laquelle le sélectionneur développe des variétés amaliorées peut être souvent subdivisée de telle façon que les environnements dans une sous-région soient similaires. Cette stratification est basée sur des considérations macroenvironnementales comme les gradients de température, la distribution pluviométrique et les sols. Cependant, même avec le raffinement de la technique, l'intéraction génotype-environnement demeure fréquemment très large. ALLARD et BRADSHAW (1964) jugent la stratification inefficace pour les variations environnementales imprévisibles.

Comme peu de progrès peuvent être attendus de la stratification et la manipulation des dispositifs expérimentaux pour réduire les intéractions, d'autres approches méritent d'être scrutées. Une méthode serait la sélection de provenances ou variétés stables qui réagissent très peu aux variations environnementales.

Si la stabilité ou l'aptitude à montrer peu d'interaction avec l'environnement est un caractère génétique, alors une évaluation devra permettre d'identifier les génotypes stables. Avec seulement les génotypes les plus stables restant pour les stades ultérieurs de la sélection, le séclectionneur sera grandement aide dans l'identification des génotypes supérieurs. Cependant, la sélection pour la stabilité ne sera possible que si des modèles avec les paramètres appropriés sont disponibles pour fournir les critères nécessaires au classement des provenances,

La variation clinaleet la variabilité génétique d'une essence testée dans divers environnements ont communément été étudiées en utilisant l'analyse de la variance ou les régressions pour élucider 1) la structure des populations, 2) les modèles des processus génétiques, 3) Iles effets de la sélection naturelle et 4) l'adaptabilité à la fois spécifique et générale de l'essence à différentes conditions écologiques (SEGARAN, 1979).

L'introduction des génotypes avec une grande stabilité, et hautement productifs dans divers environnements est un aspect désiré dant tout programme d'amélioration forestière. La stabilité d'un génotype ou d'une provenance peut être définie comme étant la constance dans la performance aussi bien dans la croissance que le taux de survie de ce génotype ou provenance lorsque testé dans différents environnements. Ainsi, depuis le milieu des années 50, diverses mesures de la stabilité ont été avancées pour compléter les études de base, mentionnées plus haut, sur la variation géographique en amélioration forestière. Certaines de ces techniques ainsi que l'application des mesures de stabilité en foresterie sont briévement passées en revue.

2.1.1 Les techniques de régression

L'utilisation des techniques de régression dans l'analyse de l'interaction a été pour la première fois débattue par YATES et COCHRAN (1938). Elles ont été ensuite utilisées pour mesurer la relation entre G x E et l'environnement, c'est-à-dire, cette portion de l'intéraction qui est une fonction linéaire de l'effet de l'environnement (FINLAY et WILKINSON, 1963 ; ROWE et ANDREW, 1964 ; SCHNELL, 1967 ; JOHNSON et AL., 1968 ; PERKINS and JINKS, 1968 ; BAKER, 1968, 1969 ; BREEZE, 1971 ; UTZ, 1972 ; HARDWICK et WOOD, 1972 ; PINTHUS, 1973 ; PENDERSON, 1974 ; OWINO, 1977). Il existe plusieurs variantes des techniques de régression, mais nous utiliserons celle développée par FINLAY et WILKINSON.

2.1.2 L'analyse structurale.

Le principe d'analyse structurale a été mis au point dans le souci de scinder les variations dues à l'intéraction entre le génohype et l'environnement en deux composantes : la réponse linéaire à l'effet de l'environnement estimée para , et la déviation ou écart de la relation linéaire estimée par λ. Ces deux paramètres sont utilisés pour estimer la stabilité génotypique d'une variété ou provenance (Tai, 1971). Tai, décrit comme étant parfaitement stable une provenance ou variété avec (α, λ) = (-1, 1) et moyennement stable une provenance ou variété avec (α, λ) = (0, 1).

2.1.3. Applications des analyses de stabilité en amélioration forestière.

Les études comparées de stabilité ont, jusqu'à ce jour, trouvé des applications limitées même dans les pays à vieille tradition forestière (HATTMER, 1965, 1968, 1969 ; NIEINSTAEDT, 1968). La technique de regression développée par EBERHART et RUSSEL a été utilisée pour estimer la stabilité quant au taux de survie et à la croissance en hauteur de neuf provenances russes de Pinus SYLVESTVIS L. au Canada (TEICH et HOLST, 1970), la stabilité phénotypique de la croissance en hauteur de 16 provenances de pin gris (PINUS BANKSIANA LAMB) dans la région des Grands Lacs d'Amérique du Nord (MORGENSTERN et TEICH, 1969), la stabilité de 9 provenances de *Picea glauca* (MOENCH) Voss testées au nord et au sud de la province de l'ONTARIO (MORGENSTERN et TEICH, 1971) la stabilité génotypique chez PINUS TAEDA L (OWINO, 1977) et la stabilité phénotypique de la croissance en hauteur et la ainétique journalière de la pression de sève et de la transpiration chez le *Pin maritime* (PINUS pinaster AIT) (GUYON et KREMER, 1982). L'analyse structurale développée par TAI (1971) n'a été selon SEGARAN (1979), utilisée que pour déterminer la stabilité de 11 provenances de *Pinus taeda* (OWINO, 1977). L'écovalence de WRICKE (1962) a été utilisée pour illustrer la stabilité de 16 provenances de *Pinus banksiana* (MORGENSTERN et TEICH, 1971), 9 provenances de *Picea glauca* (MOENCH) Voss testées dans le nord et le sud de l'ONATARIO (MORGENSTERN et TEICH, 1971) et 11 provenances de *Pinus taedaL.*(OWINO, 1977).

2.2 La méthode d'estimation des paramètres de stabilité considérée dans cette étude.

2.2.1. Le coefficient de regression de FINLAY et WILKINSON.

Cette approche permet de scinder en deux la variance due à l'interaction entre proveances et environnement : (i) la portion qui peut être expliquée par une regression linéaire (réponse linéaire à l'effet du milieu) de la variable considérée (croissance en hauteur, taux de survie, etc...) sur l'indice de qualité du milieu (cet indice est en fait la moyenne de toutes les provenances dans un environnement : milieu et/ou année) ; (ii) les déviations de cette droite de regression (FINLAY et WILKINSON, 1963 ; EBERHART et RUSSEL, 1966).

.../...

Le modèle développé par FINLAY et WILKINSON prend en compte la production moyenne (ou tout autre variable) d'une provenance dans un environnement et l'indice de qualité du milieu. Pour chaque provenance, une regression linéaire de la moyenne individuelle ($\bar{X}ij$) dans un environnement sur l'indice de qualité ou moyenne de toutes les provenances dans un environnement ($\bar{X}.j$) est estimée. Les auteurs définissent comme étant d'une stabilité moyenne et d'une adaptabilité générale toute provenance avec b (coefficient de regression) = 1.0 et $\bar{X}ij > X.j$ dans tous les environnements ; celle avec b = 1.0 mais $\bar{X}ij < \bar{X}.j$ est dite pauvrement adaptée à tous les environnements ; celle avec b> 1.0 et $\bar{X}ij$ augmentant avec la qualité du milieu est dite adaptée aux milieux de bonne qualité et d'une stabilité en dessous de la moyenne ; enfin une dernière catégorie avec b < 1.0 et $\bar{X}ij$ sans changement quelle que soit la qualité de l'environnement, dite d'une stabilité au dessus de la moyenne et adaptée aux environnements pauvres.

Tableau 1 : Analyse de variance basée sur la technique de FINLAY et WILKINSON.

Source de variation	degrés de liberté
Provenances (p)	P - 1
Environnements (1)	I - l
Répétitions dans les environnements (r)	1(r-1)
Provenances x environnements	(p - 1) (1 - 1)
regressions	P - 1
déviations	(p - 1) (1 - 2)
Erreur	pl (r - 1)

III EVALUATION DE L'ESSAI PROVENANCES D'EUCALYPTUS CAMALDULENSIS DEHN

3.1 Objectifs de l'essai camaldulensis 1973

3.1 Objectifs

3.1.1 Etude de l'adaptabilité et des variations génétiques

Cet essai s'inscrit dans le cadre de la recherche sur les essences susceptibles de remplacer les forêts naturelles après exploitation et d'être utilisées pour l'aménagement du paysage rural du Sine-Saloum (GIFFARD, 1973). L'utilisation d'une essence exotique présentant une grande variabilité dans sa zone naturelle requiert des connaissances sur ses possibilités d'adaptation au milieu d'introduction et sur les facteurs limitants. Les résultats des essais menés jusqu'ici (KARSCHON, 1967, 1973, 1974 ; LACAZE, 1970, 1977 ; LARSON, 1967 ; PRYOR, 1964 ; TURNBULL, 1973) et relatifs à son adaptabilité à différentes conditions, ont révélé une grande variation écotypique.

Cet essai a pour objectif, l'étude de l'adaptabilité, de la variation génétique, et l'identification des meilleures provenances pour l'approvisionnement en semences améliorées à court terme, et les travaux futurs d'amélioration génétique.

3.1.2 Etude de l'intéraction génotype x environnement et de la stabilité phénotypique.

L'instabilité de la croissance dans le temps et dans l'espace limite les progrès génétiques dans les schémas de sélection pour la vigueur (GUYON et KREMER, 1982). Dans la plupart des cas étudiés chez les arbres forestiers, ce problème a été appréhendé au plan biométrique en développant des modèles mathématiques d'étude de l'intéraction génotype x environnement. L'objectif visé est de pouvoir sélectionner une ou plusieurs provenances peu sensibles aux variations climatiques et édaphiques du milieu. En d'autres termes, le souhait du sélectionneur est de pouvoir identifier une ou plusieurs provenances dont la performance serait constante quelles que soient les conditions du milieu.

3.1.3 Etude des corrélations entre caractères juvéniles et adultes

Le meilleur critère de sélection des races géographiques, descendants, ou arbres individuels sera leur performance (croissance en hauteur, circonférence et taux de survie) enregistrée au cours des mensurations périodiques, de la plantation à la fin d'une rotation. Plusieurs années et un effort financier seront nécessaires pour obtenir une telle information. La connaissance de la variabilité génétique et de l'efficacité de la sélection phénotypique est essentielle à l'élaboration d'un programme d'amélioration. Une telle information qui devrait être obtenue le plus tôt possible ne peut l'être que si des tests et une sélection précoces sont effectués. Mais en même temps il faut éviter de tirer des conclusions finales avant que les effets de l'âge, des traitements en pépinière et le choc de transplantation ne soient clairement déterminés. Cette étude se propose, en partie, de présenter succintement les problèmes liés à la sélection juvénile .

3.2 Matériels et Méthodes Essai Canal. 1973

3.2 Matériels et méthodes

3.2.1 Le matériel végétal

3.2.1.1 Considérations macroclimatiques de l'aire de distribution

Eucalyptus camaldulensis Dehn. est de toutes les espèces celle qui est la plus répandue sur le continent australien. Il existe une forme méridionale (zone tempérée) et une forme tropicale. Son extension en latitude va de 15" 30' à 38°0' sud alors qu'en altitude *Eucalyptus camaldulensis* va de 30 à 600 m. Son aire naturelle de distribution est caractérisée par des pluies hivernales et estivales, la hauteur d'eau rariant entre 250 et 625 mm suivant les endroits, et la saison sèche de 4 à 8 mois ou plus, et souvent sévère. Les températures oscillent suivant les régions entre 29°C et 35°C pour la moyenne des maxima du mois le plus chaud, et entre 11" et 20°C pour les minima du mois le plus froid (FAO,1982)/

Eucalyptus camaldulensis s'adapte à une large variété de sols, mais est sujet à la chlorose sur les sols calcaires (FAO,1982).

3.2.1.2 Le matériel végétal

12 provenances représentant une portion de l'aire naturelle de distribution de l'espèce ont été testées à Keur-Mactar (Tableau n°2). Les semences ont été récoltées par le FTB (Forestry Timber Bureau) dans le Western Australia, le Queensland et le Northern Territory (GIFFARD, 1973).

Les graines ont d'abord été semées en pépinière et les plants transplantés en août 1973. La préparation de sol a consisté en la confection de grands potêts (60 cm x 60 cm x 60 cm) avec apport de 150 g d'engrais complexe 10 - 6.5 - 10 plus 2 MgO

Tableau 2 : Origine des semences

N°	Références	Provenances		Latitude	Longitude	Altitude
1	10574/FTB	Halls Creek	WA	19°34'	127°41'	300 m
2	8035/FTB	Fitzroy Crossing	WA	18°10'	125°35'	30 m
3	10571/FTB	Halls Creek/Fitzroy Crossing	WA	18°44'	126°52'	300 m
4	8298/FTB	Georgetown,	QLD	18°15'	142°50'	240 m
5	8396/FTB	Wave Hill/Halls Creek	WA	17°07'	129°04'	240 m
6	8398/FTB	Derby	WA	17°40'	123°35'	6 m
7	10558/FTB	Port George IV	WA	16°08'	126°30'	420 m
8	10517/FTB	Katherine	NT	14°04'	131°59'	210 m
9	8411/FTB	Derby	WA	17°18'	123°59	12 m
10	6948/FTB	Hughendon	QLD	20°49'	144°48'	150 m
11	8039/FTB	Derby	WA	17°10'	125°20'	
14	10543/FTB	Fitzroy Crossing	WA	18°11'	125°36'	150 m

WA = Western Australia

QLD = Queensland

NT = Northern Territory

3.2.2 Description du site d'essai

Keur Mactar est situé dans le département de Kaolack, localisé à 16°11'W de longitude, 14°24'N de latitude N et 6 m d'élevation. Sa distance de la mer à vol d'oiseau est de 70 km.

3.2.2.1 Le climat

Le climat fait partie du domaine sahélo-soudanais ou sahelo-senegalais. Il se caractérise par une pluviométrie uariant entre 700 mm au nord et 800 mm au sud d'après les valeurs recueillies pour la période 1931-1960 à l'ASECNA de Kaolack. Les valeurs enregistrées cependant entre 1973 et 1983 varient entre 300 et 600 mm. Les précipitations se répartissent entre les mois de juin et octobre avec le maximum en août. Les précipitations enregistrées de 1973 à 1980 sont respectivement de 440,2; 548,5; 553,7 ; 431,3 ; 460,7 ; 667,1 ; 484,3 et 486,5 mm. Si on tient compte de la moyenne calculée pour la période 1931-1960 (788 mm en 61 jours) 'l'on remarque que toutes les années depuis 1973 ont été déficitaires. Cependant, si l'on considère uniquement la moyenne pour la période 1967-1980 (567,3 mm en 45 jours) on constate alors que certaines années ont été excédentaires. Cette observation confirme le caractère aléatoire des précipitations. :Les températures moyennes annuelles varient entre 23°8 et 31°6C.

Le climat est un élément de l'environnement en perpétuelle fluctuation et, est à cet égard un des facteurs déterminants de la croissance et, même plus important, de l'adaptation des exotiques.

3.2.2.2 Le sol

L'essai a été installé sur un sol ferrugineux tropical lessivé, à taches et concrétions ferrugineusessur matériau d'épandage complexe sablo-argileux. Le profondeur varie entre 1,50 et 1,80 m (SADIO, 1984).

3.2.3 Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté a été celui en blocs aléatoires complets. Le placeau élémentaire comprend 49 plants à l'écartement de 3 mètres en tous sens, avec 3 répétitions, Une ligne neutre, pour éviter les effets de bordure, entoure la parcelle et est composée de 4 autres provenances d'*Eucalyptus camaldulensis* d'origine australienne.

3.2.4 Analyse statistique des données

3.2.4.1 Estimation des sources de variation et variances

(i) L'estimation des sources de variation (provenances, environnement et intéraction provenance-environnement) se fera par la méthode de l'analyse de la variance. Le modèle linéaire est le suivant :

$$Xijk = \mu + pi + lj + (pl)ij + b_k + (pb)ik + eijk$$

où Y_{ijk} = valeur phenotypique d'une provenance

μ = grande moyenne

p_i = effet dû à la $i^{ème}$ provenance

l_j = effet dû au j^{eme} environnement

$(pl)_{ij}$ = effet dû à l'interaction entre la i^{eme} provenance et le j^{eme} environnement

b_k = effet dû au keme bloc (répétition)

$(pb)_{ik}$ = effet dû à l'intéraction entre la i^{eme} provenance et le k^{eme} bloc

e_{ijk} = résiduelle (erreur aléatoire)

Tableau 3 : Table d'analyse de la variance pour déterminer les différences entre provenances et les effets dus aux blocs environnement et interactions.

Source de variation	ddl	E[CM]	
Provenances	11	$\sigma^2_w + k_1\sigma^2_{pb} + K_2\sigma^2_{pl} + k_5\sigma^2_p$	M_6
Environnements	6	$\sigma^2_w + k_2\sigma^2_{pl} + k_4\sigma^2_l$	M_5
Blocs	2	$\sigma^2_w + k_1\sigma^2_{Pb} + k_3\sigma^2_b$	M_4
Provenances x environnements	66	$\sigma^2_w + k_2\sigma^2_{pl}$	M_3
Provenances x Blocs	22	$\sigma^2_w + k^{a)}_1\sigma^2_{Pb}$	M_2
Erreur	144	σ^2_w	M_1
TOTAL	251		

a) Coefficients des variances

3.2.4.2. Comparaison des provenances

La présence d'effets significatifs dus aux provenances ne donne aucune indication à l'expérimentateur quant aux différences significatives entre provenances prises deux à deux ou en Groupes. 11 existe plusieurs méthodes de comparaison des moyennes. La méthode élaborée par TUKEY sera utilisée car elle présente l'avantage d'être conservative (seules les grandes différences sont détectées) et donc permet d'éviter le plus possible l'erreur du type 1. La formule mise au point est :

$$HSD = Q \sqrt{\frac{CME}{N}}$$

où Q = constante que l'on obtient à partir d'une table en tenant compte du nombre d'observations par traitement (ici provenance) et du nombre de degrés de liberté de l'erreur.

CME = Carré moyen de l'erreur obtenu à partir de l'analyse de la variance

N = nombre d'observations par provenance. Lorsque N n'est pas le même pour tous les traitements, on utilise la moyenne harmonique.

Deux moyennes sont dites significativement différentes lorsque

$$|\bar{X}_1 - \bar{X}_2| > HSD$$

3.2.4.3. Etude de la stabilité des provenances

Le modèle d'analyse de la stabilité a été décrit plus haut (cf II-2 : les paramètres de stabilité utilisés dans cette étude).

3.2.4.4. Estimation des coefficients de corrélation phenotypique entre caractères juveniles et caractères adultes (variables : hauteur totale, circonférence à 1,30 m)

L'estimation des coefficients de corrélation phenotypique peut être faite soit par la méthode des regressions, soit par celle de "l'analyse des produits croisés" (Cross products analysis). La méthode de l'analyse des produits croisés se présente en fait comme une analyse de la variance (tableau 4) à la seule exception qu'elle permet d'estimer des covariances au lieu des variances. Nous utiliserons pour les besoins de cette étude, la méthode d'analyse des produits croisés. L'objectif ici est d'estimer les corrélations entre les hauteurs après 1 an, 3 ans et 7 ans, et 3 ans et 7 ans pour la croissance sur la circonférence.

Tableau 4 : Tableau d'analyse des produits croisés pour l'estimation des corrélations.

Source de variation	ddl	E | PCM |	E | CM |
Provenances	11	$PC_3\ \sigma_{exy} + p\ \sigma_{bxy} + b\sigma_{pxy}$	$M_3\ \sigma^2_e + p\sigma^2_b + b\sigma^2_p$
Blocs	2	$PC_2\ \sigma_{exy} + p\ \sigma_{bxy}$	$M_2\ \sigma^2_e + p\sigma^2_b$
Erreur	22	$PC_1\ \sigma_{exya})$	$M_1\ \sigma^2_e$
TOTAL	35		

$$\text{Corrélation phenotypique} = \frac{\sigma_{pxy}}{\sqrt{\sigma^2_{pxx} \cdot \sigma^2_{pyy}}}$$

où $\sigma_{pxy} = \frac{PC_3 - PC2}{b}$ = covariance attribuable aux provenances pour les caractères x et y

$\sigma^2_{pxx} = \frac{M_3 - M_2}{b}$ = variance attribuable aux provenances pour le caractères x

$\sigma^2_{PYY} = \frac{M_3 - M_2}{b}$ = variance attribuable aux provenances pour le caractère y

3.2.5 Variables mesurées

3.2.5.1 La croissance en hauteur

L'un des objectifs primordiaux del'amélioration génétique entreprise sur l'Eucalyptus est l'augmentation de la production. Le volume d'un arbre est fonction de sa hauteur et de sa circonférence. Cette dernière est elle-même fortement corrélée avec la hauteur. Un certain gain relatif sur la hauteur se traduit par un gain nettement plus important sur le volume, d'où la nécessité d'envisager l'amélioration de l'aptitude à la croissance en hauteur. Les mesures portaient sur les hauteurs totales et les accroissements annuels.

3.2.5.2 La croissance sur la circonférence

La circonférence à 1,30 m a été mesurée à partir de la 3^{e} année. Pour cette étude nous considérons uniquement les circonférences à la troisième année et à la septième année pour estimer les corrélations pour la croissance sur la circonférence entre l'âge 3 et l'âge 7.

3.2.5.3. Le taux de survie

Une bonne adaptation aux conditions du milieu est un préalable à toute opération d'amélioration génétique. L'adaptation peut être mesurée de plusieurs manières. Une des méthodes les plus utilisées est le taux de survie au fil des années. Pour cette étude, le critère retenu est le taux de survie à la fin de la première rotation.

Une éclaircie avait été réalisée en 1976. Le taux de survie a été donc estimé en utilisant la formule

$$TS = \frac{\text{Nombre d'arbres vivants}}{\text{Nombre initial - Nombre d'arbres coupés}} \times 100$$

3.3 Résultats et discussion

3.4 Conclusion

3.3 Résultats et discussions

3.3.1 Variabilité interprovenance

3.3.1.1 Comportement interannuel et stabilité phenotypique de la croissance en hauteur

Les analyses de variance sur les accroissements annuels et les accroissements cumulés (tableaux 5 et 6) montrent qu'il existe des différences entre les provenances pour la croissance en hauteur. Le classement des provenances pour ce caractère se trouve au tableau 7. Le F de Fischer pour l'interaction provenance x bloc n'est pas significatif.

S'il existe des différences importantes dans les performances moyennes des diverses provenances, elles semblent surtout s'expliquer par leur comportement interannuel. L'analyse de variance montre que l'interaction provenance x année est expliquée pour une bonne part-par les différentes réponses des provenances. Il ressort donc de cette étude que les réponses des provenances sont différentes d'une année à l'autre. Il n'y a pratiquement pas de modification du classement des provenances d'une année à l'autre, mais les différences entre elles se font plus nettes à mesure que l'indice du milieu augmente. Ceci nous amène à la notion de stabilité phenotypique des provenances. Les pentes des droites de regression correspondant aux réponses des différentes provenances figurent au tableau 7. Il faut rappeler que la notion de stabilité phenotypique se base essentiellement sur deux indices : le coefficient de regression (b_1) et l'accroissement annuel moyen d'une provenance.

Sur la base des coefficients de regression et des accroissements moyens, l'ont peut distinguer trois groupes de provenances :

(i) un groupe avec un coefficient de regression légèrement supérieur ou inférieur à 1 mais que l'on considère égal à l'unité (8298, 10558, 10517, 8411, 6948, 8035) ; groupe dans lequel on retrouve les meilleures provenances pour la croissance en hauteur. Ces provenances avec un coefficient de regression sensiblement égal à 1 et un accroissement moyen supérieur à la moyenne générale sont dites moyennement stables et d'une adaptabilité générale. Ces provenances semblent mieux exploiter l'amélioration des conditions du milieu. Leur croissance ne paraît pas plus réduite que celle des autres provenances dès que les conditions du milieu deviennent défavorables ; et ceci peut S'expliquer par le fait que le coefficient de regression soit très proche de 1.

(ii) le deuxième groupe identifié (8398, 8039,10543,8396) se caractérise par un coefficient de regression également légèrement supérieur ou inférieur à 1 mais considéré égal à l'unité. Les provenances appartenant à ce groupe peuvent être qualifiées de stables. A l'opposé du premier groupe qui se caractérise par un accroissement moyen supérieur à la moyenne générale, les provenances appartenant à ce deuxième groupe ont un accroissement moyen inférieur à la moyenne générale. Elles sont alors dites

Tableau 5. Analyse de variance de la croissance en hauteur-variable : accroissement annuel.

Source de variation	ddl	SC	CM	F
Provenance	11	3,00398	0,27309	3,46*[a)]
Environnement	6	345,16797	57,52798	617,45**
Bloc	2	0,30580	0,15290	4,15*
Provenance x environ.	66	6,14919	0,09317	1,823**
Prov. Bloc	22	0,81061	0,03685	0,721NS
Résiduelles	144	7,36064	0,05112	
TOTAL	251	362,79785	1,4454	

NS : non significatif à 5%

* : différences significatives au seuil de 5%

** : différences significatives à 1%

a) le test de signification est approximatif ; pour plus de détails, voir "the analysis of variance" par scheffé

Test de comparaison de Tukey

8298	10558	10517	8411	6948	8035	8396	10571	10543	8039	8398	10574
1,693	1,599	1,535	1,535	1,504	1,498	1,497	1,471	1,436	1,397	1,375	1,242

Les provenances reliées par une même ligne ne sont pas significativement différentes.

Tableau 6 : Analyse de variance de la croissance en hauteur. Variable : Accroissements annuels cumulés

Source de variation	ddl	SC	CM	F
Provenances	11	64,1589	5,8326	5,13**a)
Environnement	6	2 820,3303	470,0549	1 617,53**
Bloc	2	0,6584	0,3292	0,352 NS
Prov. x Env.	66	19,1810	0,2906	3,24**
Prov. x Bloc	22	20,5817	0,9355	10,43**
Residuelles	144	12,9158	0,0897	
TOTAL	251			

NS : Non significatif à 5%

* : test significatif au seuil de 5%

** : test significatif à 1%

a) le test est approximatif ; pour plus de détails voir "The Analysis of variance" par Scheffé

Test de comparaison de Tukey

8298	10558	10517	8411	6948	10571	8396	8035	10543	8039	8398	10574
7,832	7,574	7,363	7,276	7,238	7,072	6,856	6,839	6,732	6,496	6,444	5,956

Les provenances reliées par une même ligne ne sont pas significativement différentes

Tableau 7 : Classement des provenances pour les accroissements annuels, les accroissements cumulés sur 7 ans, taux de survie et valeurs des coefficients de regression (b)

Provenance	Acc annuel (m)	Acc. cumules (m)	Taux de sùrvie %	b_1
8298	1,693	7,832	98	1,14
10558	1,599	7,574	77	1,04
10517	1,535	7,363	95	1,05
8411	1,535	7,276	85	1,04
6948	1,504	7,238	76	1,03
8035	1,498	6,839	92	1,02
8396	1,497	6,856	92	1,oo
10571	1,471	7,072	80	1,03
10543	1,436	6,732	83	0,96
8039	1,397	6,496	84	0,95
8398	1,375	6,444	85	0,92
10574	1,242	5,956	70	0,84

Tableau 8 : Analyse de variance de la variable "taux de survie"

Source de variation	ddl	SC	CM	F
Provenances	11	2246,972	204,270	1,03 NS
Bloc	2	1410,722	705,361	3,56 **
Residuelles	22	4355,945	197,998	
TOTAL	35	8013,639		

* = effet significatif à 52

** = effet significatif à 1%

NS = non significatif à 5%

Tableau 9 : Tableau des corrélations phenotypiques entre caractères juvéniles et caractères adultes.

		ddl = 22		
H3	.79			
H7	.47	.76		
c3	.54	.81	.80	
c7	.31	“59	.83	.78
	H1	H3	H7	c3

H1 = hauteur à 1 an

H3 = hauteur à 3 ans

H7 = hauteur à 7 ans

C3 = circonférence à 3 ans

C7 = circonférence à 7 ans

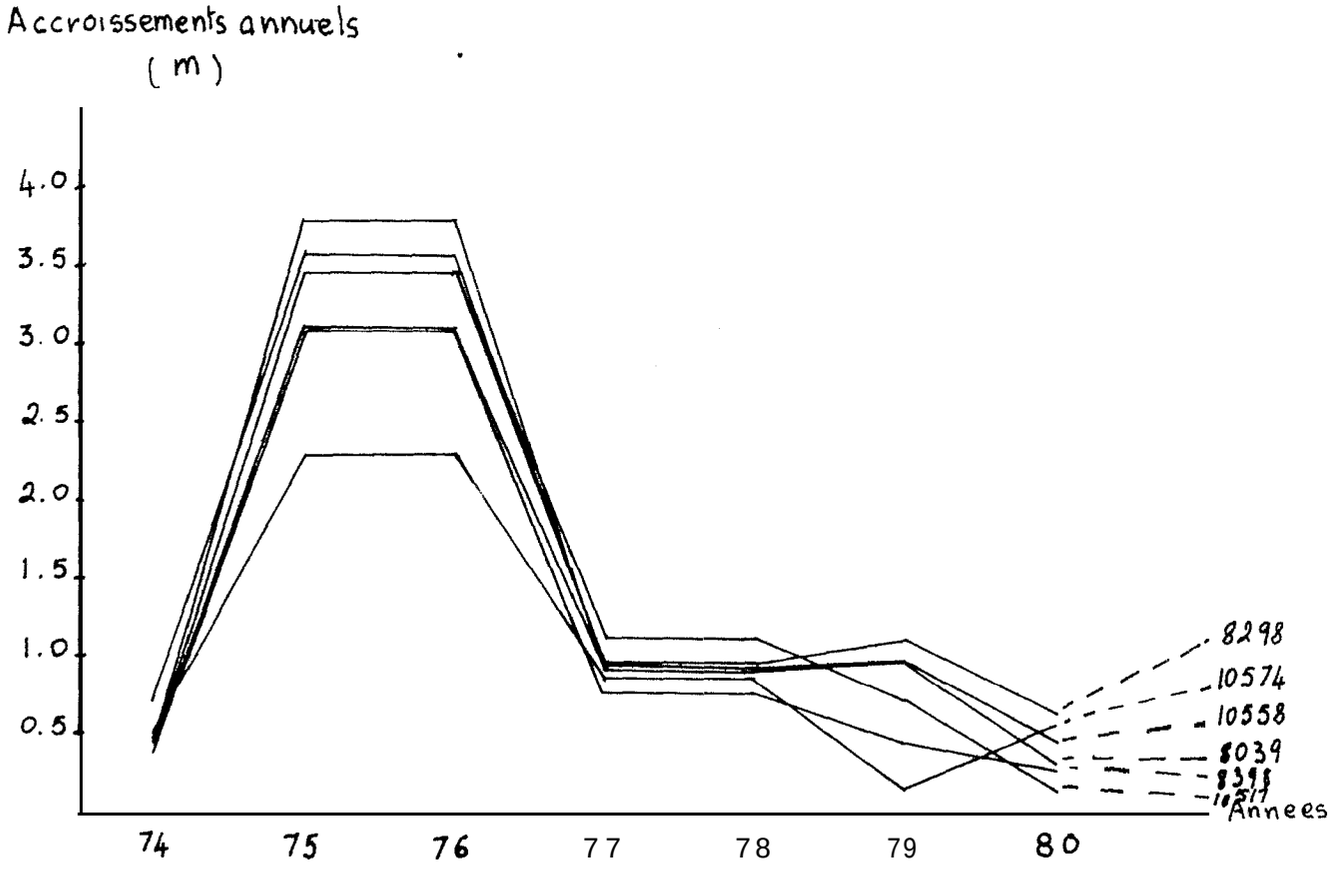

Fig. 1 Courbes des accroissements annuels des 3 meilleures provenances et des 3 dernieres

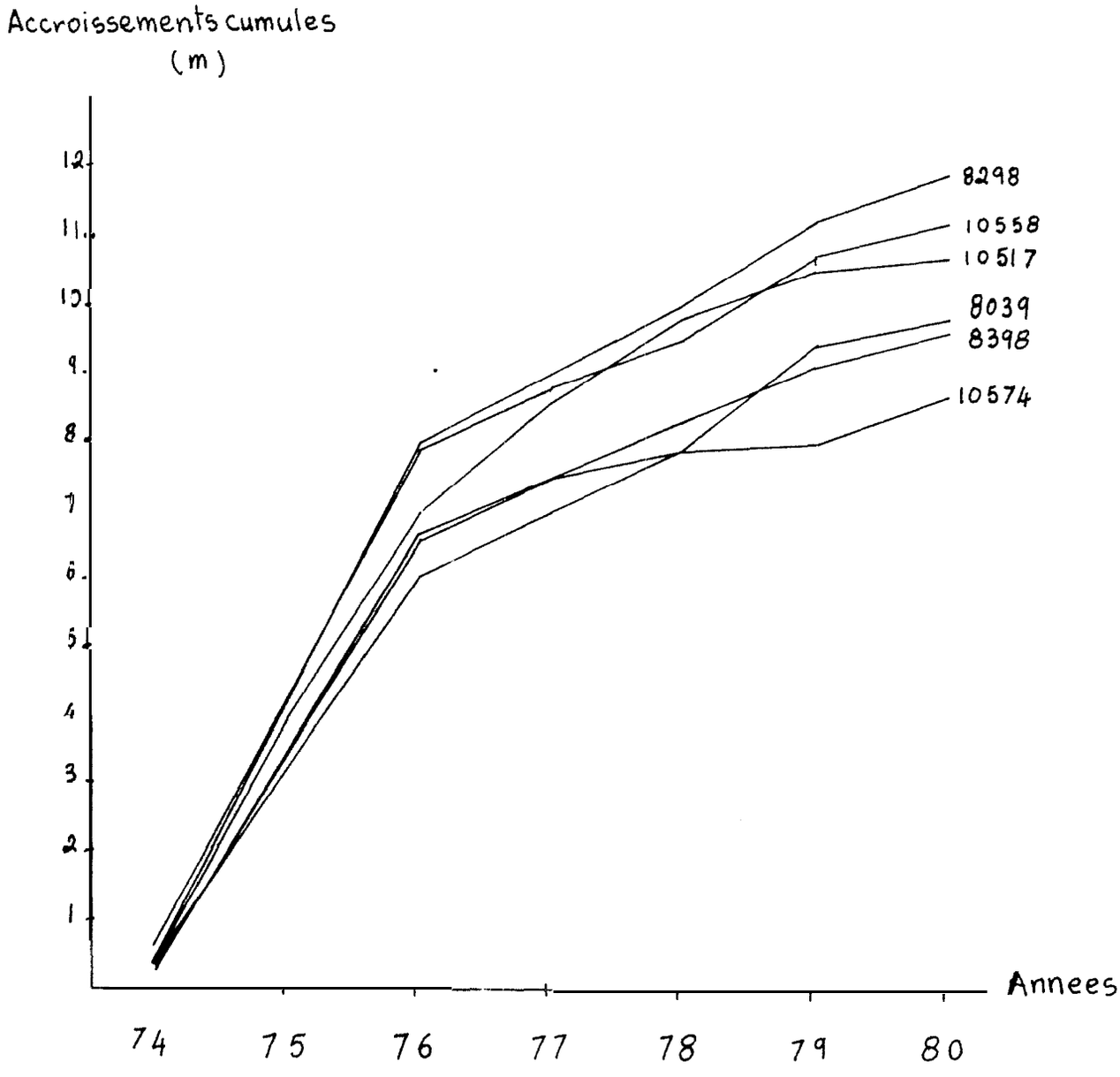

Fig. 2 Courbes des accroissements cumules des 3 meilleures provenances et des 3 dernieres.

des accroissements annuels (fig.2) montrent que le maximum de croissance a lieu les trois ou quatre premières années après quoi l'on observe une réduction considérable de la croissance. Les courbes des accroissements cumulés (Fig.2) mettent en évidence la même observation. A partir de la quatrième année la croissance devient très lente ou asymptotique.

Les possibilités d'une sélection précoce pour la croissance sur la circonférence semblent également présentes. Au vu de la forte et positive corrélation (78%) entre la croissance sur la circonférence à 3 ans et la croissance à 7 ans il est permis d'envisager une sélection pour la croissance sur la circonférence dès l'âge de 3 ans.

Un résultat qui présente un intérêt tout particulier est en fait la corrélation entre la circonférence et la hauteur. De nombreuses études ont montré qu'il existait une très forte corrélation entre la hauteur et la circonférence à un âge déterminé. L'étude des corrélations nous montre ici l'existence d'une forte corrélation (80%) entre la circonférence à 3 ans et la hauteur à 7 ans d'une part, et d'autre part entre la circonférence à 3 ans et la hauteur à 3 ans (81%). Ces corrélations suggèrent qu'une sélection précoce pour la croissance en hauteur peut être entreprise en même temps qu'une sélection pour la croissance sur la circonférence avec des chances de succès assez considérables.

Il est tout de même important de souligner que la sélection pour des traits adultes à partir d'une sélection précoce ne peut pas être aussi précise que la sélection basée sur des caractères matures. Cependant, il y a toute fois des indications que du temps peut être gagne et mieux, l'information esssentielle peut être obtenue à l'état juvénile. Les résultats de cette étude concordent avec ceux d'autres études faites sur d'autres essences (des résineux essentiellement). Squillace et Ganse1 (1974) et Steinhoff (1974) ont trouvé qu'une sélection pour la hauteur à 22 ans pouvait être entreprise dès l'âge de 10 ans, donc presque à la mi-rotation, sans trop de risques d'erreurs une fois que les effets maternels et les chocs de transplantation étaient dissipés. King et *al* (1965) et Teich et Khalil (1973) sont également arrivés à la même conclusion avec l'épinette blanche. Franklin (1979) travaillant sur quatre conifères endémiques de l'Amérique du Nord a conclu que la sélection pour la croissance en hauteur pouvait être reportée jusqu'à la mi-rotation pour donner des résultats fiables.

3.4 Conclusions

Cette étude bien que basée sur un nombre relativement limité d'observations a tout de même permis de montrer qu'il existait une variabilité interprovenance pour la croissance en hauteur. Nous trouvons cependant très peu de différences entre les provenances pour les accroissements annuels, ceci étant en partie dû au fait que les observations n'ont pas été faites de façon régulière. Les mensurations

de certaines années n'étant pas disponibles nous étions, dans ces cas, obligés de considérer la moyenne arithmétique sur deux ou trois ans ce qui n'est pas tout à fait exact. Néanmoins ces quelques biais n'affectent pas de façon dramatique la validité des résultats. Bien au contraire, les résultats nous montrent qu'il existe d'énormes différences entre provenances lorsque les accroissements cumulés étaient considérés. Sur la base de ces résultats, nous pouvons avancer que quatre à cinq provenances méritent qu'une attention particulière leur soit donnée. Il s'agit dans l'ordre decroissant des provenances 8298, 10558, 10517, 8411 et 6948. Nous retenons dans un premier temps un nombre relativement élevé de provenances parce que, le nombre étant limité, nous voulons éviter les problèmes de consanguinité qu' entrainerait une sélection très intense dès le départ. Ces provenances devront faire l'objet de tests de descendance dans un avenir très proche après élimination des autres provenances. C'est également l'occasion de souligner que contrairement à ce qui a été toujours avancé, la provenance 8411 n'est pas la meilleure dans la région mais la quatrième au classement .

Sur le plan de l'adaptation, toutes les provenances semblent venir correctement bien dans la région. Les légères différences, du reste pas significatives, observées dans le taux de survie ont une origine que cette étude ne nous a pas permis d'identifier. En effet l'analyse de variance a montré que le taux de survie variait significativement suivant les blocs. Les conditions édaphiques semblent être à l'origine de ces légères différences.

Les résultats obtenus sur les correlations phenotypiques sont encourageants à plus d'un titre. D'abord ils concordent avec ceux d'études entreprises par d'autres chercheurs sur d'autres essences et qui sont arrivés à la conclusion qu'une sélection précoce pour des traits adultes pouvait être entreprise dès la mi-rotation ; ensuite parce qu'ils supposent la possibilité d'entreprendre une sélection précoce ce qui permettrait de gagner beaucoup de temps dans nos programmes de sélection et d'amélioration génétique.

Il faut retenir, et ceci est sans doute le plus important, que ces résultats ne sont valables en grande partie (surtout 'La croissance en hauteur) que pour la zone de Kaolack. L'inconvénient des essais mono-site est que les résultats sont difficilement extrapolables à des régions avec des conditions climatiques différentes. L'idéal serait de mener ce genre d'essais dans au moins trois zones écologiquement différentes de manière à pouvoir identifier la ou les provenances qu'il faut pour chaque zone (quand l'interaction provenance x milieu est significative) ou pour l'ensemble des zones (quand il n'existe pas d'interaction provenance x milieu).

. ./. .

IV EVALUATION DE L'ESSAI :PROVENANCES D'EUCALYPTUS MICROTHECA MUELL

4.1 Objectifs de l'essai microtheca 1980

4.1 Objectifs

4.1.1 Etude de l'adaptabilité et de la variabilité

Nos connaissances des variations génétiques d'*Eucalyptus microtheca* Muell sont encore très limitées. Nous signalions plus haut dans cette étude, l'importance qu'il y a à utiliser comme base de l'amélioration génétique la ou les provenances les mieux adaptéesaux conditions locales de climat et de sol. Pour ce faire, les tests de provenances s'avèrent être le seul moyen d'identifier les provenances et individus à l'intérieur des provenances qui devront être utilisés dans les futurs travaux d'amélioration.

4.1.2 Etude des interactions genotype x environnement et de la stabilité des provenances

En tentant de répondre aux besoins pour des provenances mieux adaptées à des conditions du milieu en perpétuel changement, le spécialiste d'amélioration des plantes (céréales et plantes pérennes) est confronté à faire le choix entre améliorer pour des conditions particulières et améliorer pour une adaptation à une gamme de milieux. La dernière alternative requiert le développement de variétés avec une adaptabilité générale.. Les essais de provenances sont mis en place dans le but de tester un certain nombre de provenances sur divers environnements. La performance de ces divers génotypes peut varier en fonction de l'environnement. Certaines provenances sont spécialement adaptées à des milieux favorables, certains à des conditions défavorables, d'autres sont indifférentes aux conditions du milieu, et enfin une catégorie qui ne s'adapte à aucun environnement en dehors de leur place d'origine.

L'objectif assigné est la sélection de populations (provenances) et génotypes bien adaptés et hautement productifs. Cette sélection est cependant souvent entravée par les interactions du génotype avec l'environnement (G x E) qui se manifestent en fait par des performances différentes d'une ou plusieurs provenances dans différents environnements. Il en résulte des biais dans l'estimation des variances génétiques, les prédictions d'amélioration du milieu et les estimations de l'héritabilité. Il est donc impératif de connaître la nature et la relative importance des G x E afin de formuler les décisions concernant les programmes de sélection, les techniques de croisement et la méthodologie d'approche des tests.

L'estimation des variances attribuables aux interactions entre le génotype et l'environnement ne fournissent malheureusement aucune information sur la stabilité phénotypique ou génotypique des provenances testées. Les généticiens se se sont alors tournés vers la définition de paramètres qui permettent de quantifier la stabilité, d'une Provenance testée dans divers environnements. La stabilité, qu'elle soit phénotypioue ou génotypique, est un paramètre très important dans l'élaboration d'un programme d'amélioration couvrant des régions écologiquement différentes.

4.1.3 Production de semences améliorées à court terme et création d'une population de base

L'identification des meilleures provenances suivie d'une éclaircie permet la création de vergers à graine de première génération. Ces vergers sont aménagés pour satisfaire les besoins immédiats en semences améliorées destinées aux développeurs. Les provenances et individus sélectionnés devront également servir de population de base pour de futurs travaux d'amélioration (-hybridation inter ou intraspécifique). Des tests d'aptitude générale ou spécifique à la combinaison seront également menés pour indentifier les individus qui répondent le mieux au objectifs que l'on se sera assignés.

4.2 Matériels et Méthodes (Essai *microtheca 80*)

4.2 Matériels et méthodes

4.2.1 Le matériel végétal

4.2.1.1 Considérations macroclimatiques de l'aire de distribution

L'aire naturelle de distribution d'*Eucalyptus microtheca Muell.* couvre une très vaste superficie dans les régions continentales du centre nord et du nord de l'Australie. Son extension en latitude s'étend du 14e au 33e degré sud et en altitude de 0 à 700 m (FAO, 1982). L'aire de distribution est caractérisée par des pluies estivales ou d'orage allant de 200 à 1000 mm avec une période sèche pouvant atteindre 7 mois (FAO,1982). La moyenne des maxima du mois le plus chaud varie entre 35° et 38°C et la moyenne des minimas du mois le plus froid est de 5°C (FAO, 1982).

Eucalyptus microtheca a la réputation de tolérer la submersion, l'irrigation et les sols calcaires.

4.2.1.2 Origine des semences, élevage des plants et plantation

Les semences ont été récoltées en 1979 par le *CSIRO, sur un nombre variable d'individus allant de 8 à 25 par provenance. 21 provenances representant l'aire de distribution ont été échantillonnnées, auxquelles il faut ajouter la provenance sénégalaise de Bambey (Tableau 10).

Les graines ont été semées en mars 1980, puis transplantées dans des sachets en polyethylene. La plantation a eu lieu en août 1980 après que le sol ait subi un sous-solage croisé d'environ 60 cm de profondeur. Des 22 provenances, seulement 20 feront l'objet de considération dans cette étude.

4.2.2 Description des sites d'essai

Deux zones écologiquement différentes ont servi de sites à cet essai. Il s'agit de Bandia situé dans la région de Thiès et de Keur Mactar dans la région de Kaolack.

4.2.2.1 Station de Bandia

4.2.2.1.1 Le climat

Le climat général est du type sahélo-sénégalais caractérisé par une irrégularité, dans le temps et dans l'espace, des précipitations.La station se situe entre les isohyètes 600 (au nord) et 700 (au sud) (période 31-60). Les températures moyennes mensuelles varient entre 26" et 30°C, tandis que les maxima et les minima varient entre 32 et 37°C et 16 et 25°C respectivement. La moyenne annuelle des précipitations pour la période 1976-1983 est de 406,1 mm. Les hauteurs d'eau reçues fluctuent considérablement d'une année à l'autre (401,0 mm en 26 jours en 1980, 403,0 mm en 23 jours en 1981, 398,8 mm en 28 jours en 1982 et 248,3 mm en 17 jours

* Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation.

Tableau 10 : Origine des semences et données climatiques du milieu d'origine

N°s	Provenances	atitude	ongitude	altitude (m)	Précip. (mm)	Nb. mois secs et Max.
1	Carnaron Basin WA	22° 18'	113" 51'	10 - 20m	325 mm	5 juin 80 mm
		24" 42'	114" 22'			
2	Gascoyne Jn Region WA	24° 41'	114" 15'	70 - 100m	215 mm	5 mars 34 mm
		25" 02'	115" 19'			
3	Murchison Region WA	26" 04'	115" 51'	160 - 520m	222 mm	5 mars 38 mm
		27° 22'	119" 21'			
4	Pilbara Region WA	22° 21'	117° 42'	460 - 640m	394 mm	5 janv.104mm
		23" 16'	118" 29'			
5	E. Gascoyne-Pilbara Region WA	22" 38'	119" 54'	400 - 600m	263 mm	5 avril47 mm
		22" 53'	119" 57'			
6	Pilbara Region WA	20" 06'	118" 50'	30 - 170m	333 mm	5 fév. 74 mm
		21° 13'	120" 04'			
7	W. Kimberleys WA	17° 51'	124" 28'	100 - 120m	517 mm	7 janv.
		18" 11'	125° 36'			
8	Newcatle Waters WA	16" 45'	133° 25'	100 - 220m	494 mm	5 janv.119mm
		17° 23'	136" 05'			
9	Central Australia	19" 22'	133° 28'	200 - 520m	380 mm,	7 fév. 119mm
		22" 01'	137" 01'			
10	Alice Springs NT	16° 45'	133" 25'	100 - 220	263 mm	5.7 janv.89mm
		17" 23'	136" 05'			
11	Maree Oodnadata SA	19" 22'	133" 28'	200 - 520m	196 mm	- fév. 42mm
		22° 01'	137" 01'			
12	Mt Isa-Hughenden QLD	20" 06'	138" 46'	150 - 400	484 mm	
		21" 03'	144" 00'			
13	Jericho-Longreach-Blackall QLD	23" 21'	144" 21'	193 m	443 mm	5 janv. 123 mm
		24" 24'	146" 07'			
16	Southwest QLD	26" 37'	144" 05'	150 - 213m	360 mm	0
		27" 58'	145" 09'			
17	Charleville-W of Bollon QLD	26" 08'	145" 40'	180 - 320m	449 mm	"
		28" 02'	147° 25'			
18	Roma-Taroom QLD	25" 38'	148" 52'	186 - 280m	592 mm	"
		26" 59'	150" 07'			
19	Central NSW.QLD Border	28" 58'	144" 07'	90 - 150m	345 mm	"
		30" 03'	145" 57'			
20	Walgett NSW-N Mungindi QLD	28" 36'	148" 07'	130 - 180m	469 mm	"
		30" 05'	140" 01'			
21	Western NSW	31" 45'	142° 25'	61 - 100m	233 mm	"
		32" 27'	143" 11'			
22	Bambey - SENEGAL				666 mm	7 août 200 mm

WA = Western Australia

QLD = Queensland

SA = Southern Australia

NT = Northern Terrritories

en 1983). Le record du déficit pluviométrique a été battu en 1983 (155,4 mm). Les précipitations ont lieu de juin à octobre avec un maximum en août.

4.2.2.1.2 Le sol

L'essai a été installé sur sol ferrugineux tropical hydromorphe à pseudogley appauvri, à taches et concrétions ferrugineuses, sur matériau gréseux sablo-argileux (SADIO, 1984).

4.2.2.2 Station de Keur Mactar

4.2.2.2.1 Le climat (voir la description dans la partie évaluation de l'essai provenance d'*Eucalyptus camaldulensis* 1973 : 111-2.2.1)

4.2.2.2.2 Le sol

Deux types de sol sont rencontrés dans la parcelle (SADIO, 1984)

- les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés en fer sur, soit du matériau limono-sableux, soit du matériau sableux, Ce type de sol est aelui que l'on rencontre sur la plus grande partie de la parcelle.
- les sols ferrugineux tropicaux hydromorphes rencontrés dans les petites dépressions.

4.2.3 Dispositif expérimental

Le dispositif adopté est celui en blocs aléatoires complets qui présente beaucoup d'avantages du fait de sa souplesse, simplicité et adaptabilité. Il est également très efficacepourlaréduction de l'erreur expérimentale. Le dispositif comprend quatre répétitions avec des placeaux élémentaires de 49 arbres à l'écartement de 3,50 m en tous sens. Une ligne de bordure entoure la parcelle pour réduire les effets de bordure.

4.2.4 Analyse statistique des données

4.2.4.1 Analyses de variance pour l'étude de la variation

L'étude de la variation se fera par le biais del'analyses de la variance pour estimer les variances attribuables aux différentes sources de variation. L'analyse de la variance classique permet d'estimer ces variables et de déterminer à quel niveau se situe le plus de variation devant orienter le sélectionneur dans le choix de la méthode de sélection à utiliser, un modèle linéaire est utilisé qui permet de tester s'il existe des différences significatives entre provenances pour la croissance en hauteur-et le taux de survie, et s'il existe une interaction significative entre provenances et environnements.

$Yijkn = \mu + pi + s_j + b_{k/jn} + mn + (ps)ij + (pm)_{in} + e_{ijkn}$

(voir tableau d'analyse de la variance N° 11)

où

Yijkn = valeur phénotypique d'une provenance

μ = grande moyenne

P_i = effet dû à la i^{eme} provenance

s_j = effet dû au j^{eme} milieu

b_k = effet dû à la k^{eme} répétition .

m_n = effet dû à la n^{eme} année

$(ps)ij$ = effet dû à l'interaction entre la i^{eme} provenance et le j^{eme} milieu ,

$(pm)in$ = effet dû à l'interaction entre la i^{eme} provenance et la n^{eme} année

eijkn : erreur expérimentale aléatoire

4.2.2.2 Etude la stabilité

Les modèles statistiques et les tableaux d'analyse de la variance sont décrits plus haut (cf : II-2 ; les paramètres de stabilité utilisés dans cette étude)

4.2.5 Variables mesurées

4.2.5.1 Les paramètres de croissance

(i) Les accroissements annuels : pour mieux appréhender les effets de l'environnement (sol et pluviométrie) sur la croissance en hauteur, les accroissements en hauteur (annuels du annuels cumulés) s'avèrent être un meilleur paramètre, comparé à la hauteur totale, car fortement tributaire des conditions du milieu.

4.2.5.2 Les paramètres d'adaptation

Les paramètres qui servent à déterminer l'adaptation d'une essence aux conditions du milieu sont multiples et variés. Pour cette étude, seul le taux de survie est considéré. Nous nous proposons d'observer l'évolution au cours des trois premières années après la mise en place de l'essai.

Tableau 11 : Tableau d'analyse de la variance pour déterminer les différences entre provenances et les effets dûs aux milieux, environnements et interactions

Source de variation	ddl	E(CM)
Provenances	19	$M_8\sigma^2_e + k_2\sigma^2_{pm} + k_3\sigma^2_{ps} + k_7\sigma^2_P$
Milieux	1	$M_7\sigma^2_e + k_3\sigma^2_{ps} + k_4\sigma^2_b + k_6\sigma^2_s$
Innées	2	$M_6\sigma^2_e + k_2\sigma^2_{pm} + k_5\sigma^2_m$
Blocks/milieu	6	$M_5\sigma^2_e + k_4\sigma^2_b$
Provenancesx-milieux	19	$M_4\sigma^2_e + k_3\sigma^2_{ps}$
Provenances x année	38	$M_3\sigma^2_e + k_2\sigma^2_{pm}$
Provenances x bloc	57	$M_2\sigma^2_e + k_1\sigma^2_{pbs}$
Erreur	340	$M_1\sigma^2_e$
TOTAL	479	

a) coefficient des variances

4.3 Résultats et discussions

4.4 Conclusions

4.3 Résultats et discussions

4.3.1 Variabilité interprovenance

4.3.1.1 Comportement interannuel et stabilité phenotypique de la croissance en hauteur

Les résultats d'analyse de variance sur les accroissements annuels et les accroissements cumulés sont résumés dans les tableaux 12 et 13. Les analyses de variance montrent qu'il existe des différences significatives entre provenances pour la croissance en hauteur (accroissements annuels et accroissements cumulés). Le classement des provenances pour ce caractère se trouve au tableau 14. Les résultats d'analyse de variance font appraître des effets provenances, saison et milieu significatifs au vu des tests de FISCHER. Les F de FISCHER pour l'effet bloc et les interactions provenance x milieu et provenance x bloc ne sont pas significatifs. On observe cependant une très forte interaction provenance x saison. Les différences dans les performances moyennes des diverses provenances semblent surtout s'expliquer par leur comportement interannuel. Il n'y a pratiquement pas de modification du classement des provenances d'une année à l'autre, mais les différences entre elles se font plus nettes à mesure que l'indice du milieu augmente:. L'absence d'une interaction provenance x milieu signifie simplement que le classement des provenances pour la croissance en hauteur est le même dans les deux milieux.

Ces observations sur les interactions conduisent à la notion de stabilité phenotypique et d'adaptabilitê des diverses provenances. Les coefficients de regression correspondant aux réponses des diverses provenances figurent au tableau 14. De l'observation des coefficients de regression et des moyennes associées nous pouvons distinguer un certain nombre de groupes :

(i) on remarque un premier groupe composé d'une provenance (b_1) supérieur à 1 et un accroissement moyen supérieur à l'indice dans tous les environnements mais surtout augmentant avec l'indice de qualité. C'est une provenance d'une stabilité légérement en-dessous de la moyenne et qui est adaptée aux environnements de bonne qualité.

(ii) le deuxième groupe identifié se compose de 8 provenances (2, 12, 13, 16, 17, 19, 20, 21) toutes originaires du Queenland à l'exception de deux (2. et 21) originaires du Western Australia et de Western NSW respectivement. Ce groupé se caractérise par un coefficient de regression très proche de 1 et un accroissement moyen supérieur à la moyenne générale. Ces provenances sont dites d'une stabilité moyenne et d'une adaptabilité générale à tous les environnements.

(iii) le troisième groupe que nous identifions se compose également de 8 provenances (3, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 22) originaires du Western Australia à l'exception de trois (9, 11 et 22) provenant de Central Australia, Southern Australia et Bambey respectivement. Le coefficient de regression est sensiblement égal à l'unité mais, à l'opposê du groupe précédent, leur accroissement moyen est inférieur à la moyenne générale.

Tableau 12 : Analyse de variance de la croissance en hauteur

variable : accroissement annuel moyen

Source de variation	ddl	Somme des Carrés	Carrés Moyens	F
Provenance	19	14,1548	0,7450	4,21**[a)]
Saison	2	46,7667	23,3834	126,29**
Milieu	1	53,3466	53,3466	536,79**
Bloc	3	0,2370	0,0790	1,53NS
Provenance x saison	38	7,0362	0,1852	2,33**
Provenance x milieu	19	1,8883	0,0994	1,25 NS
Provenance x bloc	57	2,9492	0,0517	0,65 NS
Residuelle	340	27,0819	0,0797	
TOTAL	479	153,4605	0,3204	

a> Test approximatif ; pour plus de détails voir "The analysis of variance" par Scheffé

* effet significatif au seuil de 5%

** effet significatif au seuil de 1%

NS effet non significatif au seuil de 5%

Test de comparaison de Tukey

18	20	13	21	19	17	2	10	16	12	7	22	3	9	5	4	1	11	6	8
1,70	1,65	1,59	1,55	1,55	1,47	1,42	,40	1,40	1,39	1,36	1,29	1,28	1,26	1,21	1,18	1,18	1,17	1,15	1,13

Les provenances reliées par la même ligne horizontale ne sont pas statistiquement différente:

Tableau 13 : Analyse de variance de la croissance en hauteur
Variable: accroissement cumulé

Source de variation	ddl	Sommes des Carrés	Carrés Moyens	F
Provenance	19	53,1435	2,7970	5,10**[a)]
Saison	2	505,4226	252,7113	612,19**
Yilieu	1	201,2947	201,2947	474,42**
Bloc	3	0,8475	0,2825	1,34 NS
Prov x saison	38	15,6879	0,4128	1,65*
Prov x milieu	19	8,0613	0,4243	1,70*
Prov x bloc	57	11,9977	0,2105	0,84 NS
Residuelle	340	84,8703	0,2496	
TOTAL	479	881,3245	1,8399	

a) test approximatif ; pour plus de détails voir "The analysis of variance" par Scheffé

* : effet significatif au seuil de 5%

** : effet significatif au seuil de 1%

NS : effet non significatif au seuil de 5%

Test de comparaison de Tukev

18	20	13	21	19	2	12	17	7	16	10	9	3	22	5	6	4	11	8	1
3,70	3,48	3,36	3,27	3,19	3,16	3,11	3,11	3,06	2,95	2,93	2,82	2,77	2,68	2,62	2,59	2,59	2,59	2,57	2,54

Les provenances reliées par le même trait horizontal ne sont pas statistiquement différentes

Tableau 14 : Classement des provenances pour les accroissements annuels, les accroissements cumulés sur 3 ans, les taux de survie et les coefficients de regression (b_1)

Provenance	Accroissement An	Accrois. cumulé	Taux de survie	b_1
18	1,699	3,701	85	1,27
20	1,654	3,481	91	1,10
13	1,594	3,363	94	1,05
21	1,552	3,272	87	0,97
19	1,547	3,190	95	0,96
17	1,468	3,112	95	1,08
2	1,416	3,155	94	1,05
10	1,398	2,931	93	0,84
16	1,396	2,951	95	0,96
12	1,389	3,112	93	1,06
7	1,360	3,61	96	1,02
22	1,285	2,684	86	1,14
3	1,275	2,765	89	0,93
9	1,261	2,817	98	1,09
5	1,207	2,620	96	0,98
4	1,184	2,590	92	0,83
1	1,177	2,544	92	0,68
11	1,166	2,588	92	1,04
6	1,149	2,594	94	1,05
8	1,133	2,568	95	0,90

Ces provenances sont dites d'une stabilité moyenne mais "pauvrement" adaptées à tous les environnements.

(iv) enfin on note un quatrième et dernier groupe composé de 2 provenances (1 et 4) originaires du Western Australia et qui se caractérisent par un coefficient de regression inférieur à l'unité et un accroissement moyen inférieur à la moyenne et variant très peu. Ces proveances sont dites d'une stabilité phénotypique supérieure à la moyenne et adaptées aux environnements pauvres.

Au plan biologique nous retiendrons que la provenance du groupe 1, avec une stabilité légérement inférieure à la moyenne et adaptée aux environnements de bonne qualité, mettra beaucoup plus à profit les bonnes conditions du milieu. En d'autres termes, cette provenance aura une réponse plus spectaculaire aux améliorations de l'environnement, donc produira plus de biomasse quand les conditions du milieu sont les meilleures. Le deuxième groupe présente l'avantage de maintenir une performance quasi constante quelle que soit la qualité de l'environnement, Nous avons même constaté que lorsque les conditions du milieu n'étaient pas des plus favorables, les meilleures provenances de ce groupe avaient des accroissements supérieurs à ceux du groupe 1. Le troisième groupe, il peut être intéressant dans des conditions marginales où l'objectif primaire est la protection.

4.3.1.2 Variabilité interprovenance du taux de survie

L'analyse de variance n'indique, au bout de trois ans, aucune différence significative entre provenances pour le taux de survie. On remarque cependant que le taux de survie est nettement plus élevé, du moins pour certaines provenances, à Keur Mactar qu'à Bandia. A Bandia où ie taux de survie est le mons élevé, il semblerait qu'il soit beaucoup plus lié aux conditions édaphiques qu'au maeroclimat. L'analyse de variance montre en effet un facteur bloc très significatif. Sur la base des résultats obtenus, l'on peut avancer avec certitude qu'une sélection pour la croissance en hauteur ne peut pas être entravée par le taux de survie. Autrement dit, il n'existe pas de corrélation forte et négative entre le taux de survie et la croissance en hauteur.

4.3.2 Corrélations avec la latitude et les précipitations annuelles

Un objectif fixé parmi tant d'autres, était d'étudier le type de variation que présentait le matériel végétal dont on disposait. Pour ce faire une étude des corrélations entre la croissance en hauteur et la latitude d'une part et les précipitations annuelles d'autre part a été entreprises. Ces corrélations devraient théoriquement donner des indications sur le type de variation (clinale ou écotypique) présente. Contrairement aux résultats obtenus avec les essences des zones tempérées où l'on remarque une croissance plus Eaible des provenances de haute latitude, la latitude d'origine n'explique pas en grande partie la croissance des provenances (r = 0,54). Il en est de même des précipitations annuelles (r = 0,44). Ces coefficients de corrélations

Tableau 15 : Analyse de variance du taux de survie après la 3ème saison hivernale

Source de variation	ddl	Somme des Carrés	Carrés Moyens	F
Provenance	19	1757,22	92,49	1,75 NS
Milieu	1	3883,02	3783,02	48,07**
Bloc	3	827,42	275,81	5,16**
Prov x milieu	19	1495,22	78,70	1,47 NS
Residuelle	117	6251,07	53,4279	
TOTAL	159	14113,96	88,77	

** : significatif au seuil de 1%

NS : non significatif au seuil de 5%

indiquent que nous avons plutôt une variation écotypiques. Ils signifient en fait qu'il n'existe pas de relation très forte entre la variation que l'on observe pour la croissance en hauteur et la latitude d'origine d'une part, et les précipitations annuelles d'autre part. En d'autre termes nous n'avons pas une variation continue ou clinale mais plutôt localisée ou écotypique. Un écotype, d'après TURESSON (1922 a), étant une population adaptée à un habitat défini ou particulier ou à une niche particulière. 11 est sous-entendu qu'il s'agit de la réponse génétique d'une espèce à unenvironnement particulier, l'environnement pouvant être une région climatique.

4.4 Conclusions

Les résultats de cette étude ont permis de montrer qu'il existe une variabilité interprovenance pour la croissance en hauteur. Ces résultats à la mi-rotation indiquent également que les possibilités de sélection sont présentes.

Les coefficients de'corrélation entre la croissance en hauteur et, d'une part la latitude d'origine et d'autre part les précipitations annuelles ont montré que le matériel végétal présentait une variation écotypique. Cette observation est confirmée par l'étude sur la stabilité phénotypique. En effet, les différents groupes identifiés ne constituent pas une séquence continue allant par exemple des basses latitudes vers les hautes ou vice--versa. On constate plutôt que les groupes sont composites mais appartiennent d'une manière générale à des régions bien distinctes séparées les unes des autres par une certaine distance. Cependant, rien n'exclut qu'à l'intérieur de ces grandes zones nous ayons une variation clinale.

Un résultat qui intéresse particulièrement le sélectionneur, c'est l'absence d'une interaction significative provenance x milieu. Il est intéressant parce que le sélectionneur en élaborant son modèle de sélection n'aura pas à se soucier de deux modèles mais rien que d'un seul pour les deux régions. L'absence d'une interaction provenance x milieu signifiant que le classement des provenances demeure le même quel que soit le milieu. Il serait cependant plus judicieux, compte-tenu des grandes différences climatiques, de procéder à une sélection séparée, mais les provenances retenues seront les mêmes. Seules les intensités de sélection varieront.

L'analyse de variance ne nous montre aucune différence significative entre provenances pour le taux de survie. Nous constatons néanmoins que ce taux est relativement plus bas à Bandia qu'à Keur Mactar. Cette différence est beaucoup plus liée à des conditions de sol que de climat. Il est évident néanmoins que les conditions climatiques sont plus rigoureuses à Bandia qu'à Keur Mactar. Le taux de survie reste cependant dans les limites de l'acceptable pour pratiquement toutes les provenances les plus intéressantes à l'exception de la provenance 18 qui connaît un taux de mortalité très élevé et qui est sans doute lié à d'autres facteurs.

V Propositions de recherches futures

5.1 Conservation des ressources génétiques

Le résultat de la sélection est la réduction de la variabilité génétique. Une sélection trop intensive, surtout faite à partir d'un petit échantillon de populations (le nombre d'individus par population est également très important), peut réduire la variabilité génétique au point de compromettre le succès des futurs programmes d'amélioration génétique.

L'amélioration génétique suppose la sélection de populations et/ou d'individus phenotypiquement supérieurs aux autres. Pour ce faire, le sélectionneur doit disposer d'un pool génétique large à partir duquel les sélections peuvent être opérées, La variabilité génétique s'amenuisera dans le temps en fonction des intensités de sélection, car toute sélection suppose une réduction de la variance additive ou due aux effets génétiques additifs. Une réduction de la variabilité est en fait souhaitée pour réaliser des progrès et avoir des populations homogènes, mais il est impératif de maintenir une certaine variabilité. Ces deux objectifs peuvent être atteints à l'aide d'un programme à deux phases : (i) une phase à court terme et une phase à long terme ; en fait un programme d'amélioration qui n'inclurait pas les deux phases est pratiquement voué à l'échec,

(i) La première phase d'un programme d'amélioration est une opération à court terme (optique : utilisation). Elle consiste à produire en masse des semences ou propagules végétatives pour les plantations de grande envergure. Cet objectif est atteint par la création d'aires de production de semences (résultant de l'éclaircie des tests de provenance), des vergers à graines (après des tests de descendance) ou de vergers à clones de première génération. Il n'est pas exigé une grande variabilité de la base génétique, mais juste assez pour éviter une monoculture. A cet effet, les provenances retenues après les tests de provenances, en attendant de mettre en place des tests de descendance, pourront servir d'aires de production de semences.

(ii) La seconde phase est plutôt une phase à long terme (optique : recherche). Sa vocation est le maintien d'une base génétique possédant une grande variabilité qui devra servir de réservoir pour les futurs travaux d'amélioration. A partir de ce réservoir de futures sélections sont faites qui vont servir dans la phase 1. Cet objectif sera atteint avec la création de parcelles conservatoires ou la réalisation de facilités de stockage des semences (chambre froide notamment) où le généticien ou le sélectionneur pourra se procurer, chaque fois que besoin sera, les gènes dont il aura besoin pour faire face à Ün problème ponctuel.

De nombreux programmes d'amélioration, spécialement avec les Eucalyptus, mettent beaucoup plus l'accent sur la phase 1 au détriment de la phase 2 (BRUNE et ZOBEL, 1981). Afin d'éviter les erreurs commises avec certaines céréales (maïs notamment), l'accent devrait être mis davantage sur la phase 2 à cause des éventuels changements qui pourraient advenir dans l'environnement (sols, climat, attaques patho

gènes ou parasitaires). La seule façon d'arriver à obtenir des variétés qui s'adaptent à de tels changements, serait de disposer d'une base génétique large. Ceci est surtout plus indispensable pour les essences exotiques. Certaines espèces d'insectes et de maladies s'adapteront toujours à la nouvelle essence (ZOBEL, 1978). Une essence exotique étant souvent partiellement adaptée à son nouvel environnement, le développement de variétés mieux adaptées ne peut être réalisé que si le sélectionneur dispose de la variabilité génétique d'où il pourra puiser les gènes nécessaires.

Pour atteindre cet objectif, nous préconisons un échantillonnage plus large de l'aire de distribution des essences testées jusqu'ici. La récolte de semences devra rouvrir des zones plus sèches que celles où les premières récoltes ont eu lieu, La conservation des ressources génétiques devra également concerner d'autres espèces du genre Eucalyptus et qui devront provenir de zones à climat aride et/ou semi-aride. Ce matériel génétique sera conservé ex situ sous forme d'arboreta dans différentes zones écologiques à travers le pays.

5.2 Sélection individuelle, tests de descendance et création de vergers de première génération

L'identification des phénotypes désirables est une phase commune à la plupart des programmes d'amélioration des arbres forestiers. Des individus phénotypiquement supérieurs sont, d'une manière générale, utilisés pour (i) la récolte de semences issues de pollinisation libre, pour la création de plantations ; (ii) la récolte de graines issues de pollinisation libre ou dirigke pour des tests de descendance permettant d'estimer certains paramètres génétiques ; (iii) la récolte de greffons et de boutures qui pourront être utilisés pour des tests de descendance ou des tests clonaux.

Les tests de descendance permettent d'apprécier dans quelle mesure les arbres "+", sélectionnés en fonction de la valeur exceptionnelle du phénotype, sont capables de transmettre les caractères phénotypiques à leurs descendants issus de pollen du peuplement (sélection maternelle). Ils permettent également d'estimer un certain nombre de paramètres génétiques d'une importance capitale, parmi lesquels l'héritabilité et l'aptitude à la combinaison.

5.2.1 - L'héritabilité

Elle est par définition La portion de la variance totale, dans un peuplement de descendants, due aux effets génétiques. La variance génétique considérée peut être totale dans le cas d'un test clonal, ou additive dans le cas d'un test de descendances issues de graines . L'efficacité de la sélection dans une population composite dépendra d'une part de la portion de la variation totale due aux effets génétiques donc tranmissibl es, et d'autre part de La portion due aux facteurs de l'environ-

nement..La sélection sera inefficace si les effets de l'environnement affectent considérablement la variabilité.

L'héritahilité d'un caractère détermine le choix du mode de sélection. Les traits fortement héritables font le plus souvent l'objet d'une sélection massale ou individuelle ou encore phénotypique tandis que :Les caractères à héritabilité faible telle que la croissance en hauteur font l'objet d'une sélection de famille ou d'une sélection combinée (famille et individuelle). L'héritabilité est un paramètre génétique intervenant dans la prédiction des gains réalisablesà partir de la sélection. La formule du gain génétique se présentant comme suit :

$G = i\ h^2 \sigma_p$ où

G = gain génétique

i = intensité de sélection

h^2 = héritabilité

σ_p= écart-type de la variance phénotypique.

Pour accroître les gains génétiques le sélectionneur doit accroître i, h^2 et σp. L'intensité de sélection peut être augmentée jusqu'à une certaine limite au risque de provoquer la consanguinuité dans la population. 11 reste donc l'héritabilité et la variation phénotypique. L'augmentation des gains requiert des investissements humains et matériels. L'héritabilité est un paramètre qui guidera le sélectionneur quant aux moyens à déployer pour accroître les gains. En d'autres /termes les caractères fortement hérités pourront bénéficier d'investissements assez substanciels parce que les gains seront plus importants alors que les caractères à faible héritabilité nécessiteront des investissements modérés.

Nous disposons d'un matériel végétal non négligeable. Des tests de descendance devraient permettre d'estimer l'héritabilité avant de passer à une phase de sélection.

5.2.2 L'aptitude à la combinaison

L'un des principaux objectifs de tests de descendance est l'identification de parents (géniteurs) dont les descendants sont toujours supérieurs à la moyenne de la population d'où ils proviennent. On distingue deux types d'aptitude à la combinaison :

(i) l'aptitude générale à la combinaison et la valeur d'élevage ou valeur additive : BOWAREL (1970) définit la valeur d'élevage comme étant la valeur d'un individu jugée par la valeur moyenne de sa descendance (en termes d'écart à la moyenne de la population à laquelle il appartient). Les individus à haute valeur d'élevage possèdent une aptitude générale à la combinaison et sont ceux désirés par le sélectionneur dans un programme d'amélioration où les croisements contrôlés ou dirigés sont difficiles ou très coûteux à réaliser ;

(ii) l'aptitude spécifique à la combinaison et la valeur due à la dominance et/ou épistasis : la dominance et l'épistasis sont dues à l'interaction entre allèles d'un même locus et entre allèles ou gênes de différents loci respectivement. La valeur due à la dominance et/ou à l'épistasis n'est pas transmissible, pour les raisons évoquées plus haut, mais peut être très importante. En effet lorsque des croisements contrôlés sont envisagés dans un programme d'amélioration, il est souhaitable de les effectuer entre géniteurs possédant une aptitude spécifique à la combinaison. Les effets génétiques non additifs sont parfois d'une importance capitale au généticien s'il doit recourir à des croisements dirigés où à la multiplication végétative d'individus sélectionnés.

Les tests de descendance, outre leur rôle primordial dansll'estimation de certains paramètres génétiques, sont d'une importance capitale dans l'identification et la sélection des arbres d'élite. En effet les plantations comparatives de descendances d'arbres "+" obtenus par sélection massale ou de famille permettent d'éliminer les arbres "+" dont les descendances ne sont pas supérieures aux témoins issus d'arbres quelconques. Les arbres "+" dont les descendances sont supérieures seront conservés sous le nom d'arbres d'élite. Après donc l'inventaire et la sélection des gènes favorables, tant au niveau des provenances qu'au niveau individuel, le généticien pourra entreprendre d'associer ces gènes pour créer des génotypes nouveaux supérieurs, et faire faire un second pas à l'amélioration génétique de l'espèce. Les plantations d'arbres "+" après éclaircie pour conserver uniquement les arbres d'élite, constituent des vergers à graines de première génération.

Les tests de provenances entrepris jusqu'ici ont montré qu'il existait une variabilité interprovenance et nous avons pu identifier un certain nombre de provenances intéressantes pour les travaux futurs d'amélioration. Ces provenances doivent permettre d'entreprendre des tests de descendance de manière à estimer les paramètres génétiques mentionnés plus haut, et d'installer des vergers à graines de première génération.

Le travail du sélectionneur sera grandement facilité si les processus de reproduction sont bien appréhendés. Pour cela une étude de la biologie florale et des processus de fécondation s'impose.

5.3 Etude de la biologie florale et des processus de la fécondation

Les méthodes de sélection et de croisement sont fortement tributaires du mode de reproduction. Si l'autogamie est prédominante chez l'espèce, il pourrait en résulter l'échec du programme d'amélioration si les méthodes d'amélioration pour essences allogames sont utilisées. Si l'autogamie est courante, les arbres "+" greffés dans un verger à graines ont des chances très limitées d'exprimer la valeur d'élevage pour laquelle ils ont été sélectionnés. L'autogamie limite également le nombre des nouvelles combinaisons génétiques à partir desquelles de nouveaux gains peuv

vent être réalisés. Les possibilités d'exploiter l'hétérosis suivant les hybridations contrôlées intra et interspécifiques dépendent largement du mode de reproduction. Une meilleure connaissance de la biologie florale et de reproduction de l'essence fournit une bonne base pour une meilleure compréhension des mécanismes de l'hérédité.

Nos connaissances actuelles du mode de reproduction du genre Eucalyptus ne permettent pas de conclure si l'allogamie ou l'autogamie prévalent. La littérature fait état de la présence des deux modes de reproduction mais avec prédominances de l'allogarnie. Pour certaines espèces, il semble qu'il y ait une préférence pour un processus de fécondation croisée, l'autofécondation étant contrariée par des anomalies morphologiques ou physiologiques (protandrie, protogynie, hétérostylie) (CLAUDOT, 1963). PRYOR (1951 a> a entrepris une étude assez détaillée de la pollinisation chez le genre. La pollinisation semblerait surtout effectuée par des insectes, du moins en Australie; car il a été observé qu'une variété d'insectes étaient attirés par les fleurs d'Eucalyptus. Les fleurs sont en plus protandres et a priori adaptées à la pollinisation croisée, mais l'autogamie n'est pas à exclure. Le peu d'espèces qui ont été étudiées au Brésil par KRUG et ALVES (1949) étaient autostériles. Cependant la plupart des espèces que PRYOR (1951 a) a examinées en Austraiie avaient d'abondantes semences après autopollinisation. CLAUDOT (1963) a également obtenu des semis et plants viables après autofécondation et après trois ans de croissance. Les plants présentaient une bonne uniformité de port mais avec quelques exceptions présentant une forme "dégénérée" et des feuilles frisées. L'autofertilité existe donc chez 1'Eucalyptus bien que les fleurs se prêtent à l'allogarnie. Mais en fait la grande variabilité, indice de 'lhétérozygotie, des peuplements et plantations d'Eucalyptus laisse supposer que l'allogarnie est prédominante et maintient la diversité observée dans les populations.

Le programme amélioration génétique des Eucalyptus doit entreprendre dans les plus brefs délais une étude de la biologie florale et de reproduction. Il comprendra entre autres chercheurs un botaniste qui s'occupera de l'étude de la biologie florale et des techniques d'émasculation. Les méthodes utilisées pour déterminer les taux d'allogamie et d'autogarnie sont multiples. Elles vont des techniques les plus sophistiquées (électrophorèse) à la simple comparaison de plants issus de croisements contrôlés et d'autofécondation sur le même individu. Les moyens dont nous disposons ne, permettent pas d'entreprendre des études électrophérétiques. Des plantations comparatives en pépinière et au champ de plants issus des deux modes de reproduction devraient donner des résultats fiables.

La compréhension des processus de fécondation est indispensable avant tout programme de sélection car en fait les méthodes de sélection sont tributairesdu mode

de reproduction. La production d'hybrides souvent plus performants que les parents nécessitera l'usage de techniques différentes suivant que l'allogamie ou l'antogamie prédomine.

5.4 Hybridation et utilisation de la vigueur hybride ou hétérosis

La création d'hybrides plus conformes aux critères de sélection définis pour les conditions du sahel, tant au niveau de la production de bois qu'à celui de l'adaptation aux exigences climatiques, doit devenir l'une de nos priorités. Pour les conditions climatiques du sahel, les croisements contrôlés, particulièrement au niveau interspécifique, peuvent à court terme représenter un avantage considérable pour une sylviculture intensive. 11 faut avoir en mémoire que l'Eucalyptus est une essence exotique et, comme telle, son introduction en zone sahélienne nécessite qu'il soit pris un certain nombre de précautions vis-à-vis de la sécheresse. Nous envisageons à cet effet des hybridations interspécifiques entre essencestrès résistantes à la sécheresse et des essences moins résistantes mais ayant une meilleure croissance. Il s'agira donc d'un transfert de genes d'une espèce vers une autre. Nous disposons déjà d'un pool génétique non négligeable avec une croissance satisfaisante. Il faut donc introduire des espèces provenant de zones plus arides afin de pouvoir procéder au transfert de gene.

11 faudrait alors savoir s'il ne se pose pas un problème d'incompatibilité aux hybridations. ELDRIDGE (1978) trouve que plusieurs espèces d'Eucalyptus s'hybrident facilement. Les cas abondent même dans les reboisements et les plantations comparatives où des individus présentent des caractères propres à deux espèces. Ils attirent d'autant plus l'attention que souvent ils bénéficient de la vigueur hybride ou bien sont les seuls beaux arbres d'une plantation qui se solda par un échec. De nombreux exemples de succès d'hybridation sont mentionnés dans la littérature (SHELBOURNE, 1962, 1963 ; BODEN, 1964 ; DELWAULLE et MARTIN, 1983). Il se pose cependant un problème quant à la facilité de réaliser des croisements contrôlés surtout quand on ne dispose pas de moyens matériels et humains suffisants. VENKATESH et KEDHARNATH (1964) et CAUVIN (1983) trouvent que les fleurs d'Eucalyptus sont relativement faciles à émasculer pour la réalisation des croisements contrôlés si nécessaires dans un programme d'amélioration; Les techniques proposées apparaissent relativement simples et ne requièrent pas d'équipement sophistiqué. L'hybridation interspécifique étant relativement courante et 'facile, il est possible et même conseillé d'utiliser ce potentiel en installant des parcelles de croisements libres (en assumant bien sûr l'allogarnie prédominante et une bonne aptitude générale à la combinaison). Pour cela, les parcelles doivent être composées de clones ayant une même époque de floraison afin d'éviter la consanguinité.

Les hybrides étant très souvent stériles, il faut alors envisager un mode de multiplication et de propagation asexuées. La multiplication végétative précédée

de la sélection clonale semble être la seule alternative.

5.5 Sélection clonale et multiplication végétative

La sélection clonale est une étape qui assure la meilleure valorisation des gains génétiques réalisés. Elle doit par conséquent intervenir au niveau le plus élevé atteint par l'amélioration : sélection d'espèces, sélection de provenances, sélection individuelle . Elle doit permettre la multiplication en masse de génotypes exceptionnels détectés à partir de leur phénotype.

L'hybridation intra et interspécifique est une méthode d'amélioration très prisée donnant naissance à des individus présentant l'hétérosis ou vigueur hybride. L'hétérosis est cependant dû à des facteurs géniques non additifs donc non transmissibles aux générations.futures. Du fait de la ségrégation des gènes (lorsque les hybrides sont fertiles), des semences récoltées sur des hybrides F1 et sur les générations suivantes produisent généralement des peuplements d'une hétérogénéité inacceptable et aux rendements inférieurs à ceux des parents hybrides. La sélection clonale par le biais de la multiplication végétative donne donc des possibilités d'utilisation d'interactions favorables mais non additives (hétérosis, épistasis). C'est également une méthode de conserver l'intégralité des gains génétiques réalisés par l'hybridation car la stérilité des hybrides est un phénomène courant. La multiplication végétative permet la constitution de peuplements à haute productivité et de grande homogénéité ; ou évoluera donc vers des plantations à espacements larges qui permettent d'éviter les premières éclaircies non rentables, de diminuer les coûts d'implantation tout en favorisant au maximum la croissance de l'arbre.

Les techniques de multiplication végétative sont nombreuses et variées, Les plus utilisées sont cependant le greffage et le bouturage. Une technique assez récente mais pas totalement maîtrisée donne beaucoup d'espoir à long terme : la culture de tissu ou de cellules. Nos programmes à court terme mettront beaucoup plus L'accent sur le greffage et le bputurage.

5.5.1 Le greffage

Ce mode de multiplication végétative est d'une importance pour la constitution de vergers à graines de clones. Le greffage présente l'avantage de conserver l'intégrité de l'ortet. La conservation des propriétés seniles du greffon permet la la production de semences dans un intervalle de temps relativement court comparé au verger à graines de semis. Cette technique permet, après sélection individuelle, la multiplication des phénotypes et la production en masse de semences par fécondation libre ou contrôlée.

Les provenances retenues à partir des tests de Keur Mactar feront l'objet de tests de descendance et de tests de greffage pour la création de vergers à graines de première génération. Le greffage permettra de produire des semences le plus

rapidement possible. La manipulation des organes de reproduction est également beaucoup facilitée, si on envisage des croisements contrôlés, du fait de la petite taille des portes greffe.

5.5.2 Le bouturage

Ce mode de multiplication asexuée pourrait jouer un rôle important dans les travaux d'amélioration nécessitant un nombre limité de "copies" des arbres sélectionnés. Cette technique présente un intérêt tout particulier pour la production de matériel nécessaire à l'étude phénotypique des arbres d'élite en plantation dans différentes stations écologiques. A un stade encore plus poussé, il permettra la propagation directe la plus fidèle d'arbres d'élite, notamment de ceux qui sont fortement hétérozygotes et des hybrides interspécifiques.

Ce type de propagation présente beaucoup d'intérêt pour *Eucalyptus microtheca Muell.* chez qui on observe très peu de floraison surtout sur les plus beaux phénotypes. La propagation et la multiplication de ces phénotypes, après sélection, par bouturage est un avantage certain.

5.5.3 La culture de Tissu

La culture de tissu est par définition une technique qui permet de produire des plantules, à partir de tissu couramment appelé cal , qui sur le plan génétique sont identiques à la mère. Il y a évidemment des mutations qui interviennent au cours du développement, entraînant la variabilité que l'on observe.

Les progrès en matière de recherche génétique et les perspectives de production d'arbres "supérieurs" ou plus productifs à travers des innovations telle que la culture de tissu ou la culture cellulaire promettent des gains considérables pour les années à venir. Les chercheurs s'attèlent au développement et au perfectionnement des techniques pour la production de plantules dans les tubes à essai et les serres. La culture de tissu doit être envisagée pour les essences qui se reproduisent difficilement et qui présentent beaucoup d'intérêt pour le sélectionneur et le sylviculteur. Avec *Eucalyptus microtheca* dont la reproduction est très souvent faible, surtout avec les plus beaux individus, la culture de tissu pourrait être une solution et permettrait la production de grandes quantités de plantules peu de temps après la sélection. L'application de cette nouvelle technologie ne doit pas se limiter à *Eucalyptus microtheca* mais à bien d'autres essences, Le peu de moyens dont on dispose ne permet pas d'entreprendre de tels.essais au CNRF et une collaboration avec des institutions mieux dotées, l'université notamment, doit être envisagé à court et moyen terme.

5.6 Sélection pour une adaptation à des conditions marginales

Le déficit hydrique que connaît notre zone, les conditions édaphiques très défavorables (salinité) de certains zones destinées au reboisement dictent l'utilisation d' espèces, provenances ou individus solidement adaptés aux conditions climatiques

et édaphiques. L'espoir est permis avec les méthodes d'amélioration génétique, notamment les hybridations. De telles études devront être entreprises par des équipes pluridisciplinaires qui comprendraient entre autres, un écophysiologiste, un pédologue et un généticien ou sélectionneur.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

ALLARD, R. W. ; Bradshaw, A. D. (1964) : Implications of genotype-environment interactions in applied plant breeding. Crop Sci. 4 : 503 - 507

BAKER, R. J. (1968) : Genotype-environment interaction variances in cereal yields in Western Canada. Can Jour. Plant Sci. 48 : 293 - 298

——— (1969) : Genotype-environment interactions in yield of wheat. Can. Jour. Plant Sci. 49 : 743 - 751

BECKER, W. A. (1975) : Manual of quantitative genetics. Third edition. Washington State Univ. Press, Pullman, Washington

BODEN, R. W (1964) : Hybridization in Eucalyptus. Indian Forester 90 : 73 - 81

BOUVAREL, P. (1952) : L'amélioration des arbres forestiers aux Etats-Unis d'Amérique. L'institut de génétique forestière de Placer ville (Californie). Rapport de mission .
Extrait des Annales de l'Ecole Nat. des E et F et de la Sta. Rech. Exp (Tome XIII - Fascucule 1)

——— (1970): Principes de génétique forestière. Elements d'amélioration des arbres forestiers. CTFT Session de formation continu, Sept 1970

BREEZE, E. L. (1971) : Biometrical genetics and its application. Proceedings of the Sixth Congress of Eucarpia

BRUNE, A. ; Zobel, B. J. (1981) : Genetic base populations, gene pools and breeding populations for Eucalyptus in Brazil. Silvae Genetica 30 (4 - 5) : 146 - 149

CAUVIN, B. (1983) : Eucalyptus - Hybridation contrôlée . Premiers résultats. In Annales de Rech. Sylvicoles AFOCEL : 85 - 117

CISSOKHO, A.K. (1983) : La place de l'Eucalyptus dans la politique forestière du Sénégal Comm. Cons. des Ministres 10pp.

CLAUDOT, J. (1963) : Contribution du Maroc pour l'amélioration génétique des Eucalyptus introduits dans le bassin méditerranéen. Compte-rendu de la Consultation Mondiale sur la Génétique Forestière et l'Amélioration des arbres Stockholm (1963)

COMSTOCK, R. E. ; Moll, R. H. (1963) : Genetype-environment interactions. Symposium on Statistical Genetics and Plant Breeding. NAS-NRC Publication N° 982, 164-196

DELWAULLE, J. C. ; Martin, B. (1983) : Strategie d'amélioration des Eucalyptus au Congo. Contribution volontaire à la Conférence sur les Eucalyptus résistants au froid Bordeaux 1983

../..

EBERHART, S. A. ; Russel, W. A. (1966-r : Stability parameters for comparing varietees. Crop Sci. 6 : 36 - 40

ELDRIDGE, K. G. (1978) : Genetic improvement of Eucalyptus. Silvae Genetica 27 (5): 205 - 209

FALCONER, D. S. (1981) : Introduction to quantitative genetics. 2nd edition. Longman Inc. , New-York 340 pp

FAO (1982) : Les Eucalyptus dans les reboisements. Collection FAO : Forêts N° 11

FINLAY, K. W. ; Wilkinson, G. N. (1963) : The analysis of adaptation in a plant breeding program. Aust. Jour. Agr. Res. 14 : 742 - 754

FINS, L (undated) : Natural variation.Mimeo. 29 pp

FRANKLIN, E. C. (1979) : Mode1 relating levels of genetic variance to stand development of four North American conifers. Silvae Genetica 28 (5 - 6) : 207-212

GARDNER, C. D. (1977) : Quantitative genetic Studies and population improvement in maize and sorghum. Pages 475-488 in: Proc. International Conf. on Quantitative Genetics, Ames Iowa. USA 1976

GIFFARD, P. L. (1965) : Recherches effectuées sur les Eucalyptus. Rapport d'activité du CTFT au Sénégal

——— (1970) ; Essai de provenance d'*Eucalyptus camaldulensis Dehn.* Rapport d'activité du CTFT au Sénégal

——— (1973) : Rapport d'activité CTFT/SECPN

——— (1975) ; Essais de provenances d'*Eucalyptus camaldulensis Dehn.* au Sénégal. Rapport d'activité CTFT/SECPN

GRISON, F. (1973) : Principes d'amélioration génétique des arbres forestiers. Cours à l'Institut National d'Etudes Forestières (Cap-Esterias) Gabon

GUYON, J. P. ; Kremer, A. (1982) : Stabilité phénotypique de la croissance en hauteur et cinétique journalière de la pression de sève et de la transpiration chez le pin maritime (Pinus pinaster Ait). Can. Jour. For. Res. 12 : 936-946

HAMEL, 0. ; BAILLY, C.R. (1981) : Premières observations sur les potentialités de l'Eucalyptus au Sénégal. Contribution volontaire au Congrés IUFRO de Kyoto - Japon

HARDWICK, R. C. ; Wood, J. T. (1972) : Regression methods for studying genotype - environment interactions. Heredity 28 : 209 - 222

. . /. .

HARTL, D. L. (1980) : Principles of population genetics. Sinauer Associates Inc. , Sunderland Mass. 488 pp

HATTEMER, H. H. (1965) : Das Verhalten einiger Kiefern-Herkünfte gegenüber der Schütte. Allg. Forst-u. Jagjzeil, 136 : 242-248

———— (1968-69) : Versuche zue geographischen variation bei der japanischen Lärche. Silvae Genetica *17 : 186 - 193*

JOHNSON, V. A. ; Shaffer, L. ; Schmidt, J.W. *(1968)* : Regression analysis of general adaptation in hard red winter wheat. Crop Sci. 8 : 187 - 191

KARSCHON, R. (1967) : Ecotypic variation in *Eucalyptus camaldulensis Dehn.* Nat and Univ. Inst. of Agr., Ilanot. Contributions of Eucalyptus in Israel III : 35 - 53 In *Eucalyptus camaldulensis*. CFI-CSIRO, Tropical Forestry papers N°8

———— (1973) : Growth of *Eucalyptus camaldulensis Dehn.* in Israel as related to latitude and longitude of seed origin. In Tropical provenance and progeny res. and int. coop : 269-274

———— (1974) : The relation of seed origin to growth of *Eucalyptus camaldulensis Dehn.* in Israel. Israel Jour. Agr. Res. 23 (3-4) : 159-173

KENDAL, M. G. ; Stuart, A. (1961) : The advanced theory of statistics. Vol 2 Third edition, Griffiths and Co Ltd. , London

KING, J. P. ; Nienataedt, H. ; Macon, J. (1965) : Super-spruce seedlings show continued superiority USDA For, Serv. Res. Note LS - 66 2pp

KRUG, C. A. ; Alves, A. S. (1949) : Eucalyptus improvement. Jour. Hered. 133-139 ; 143-149

LACAZE, J. F. (1970) : Etude de l'adaptation écologique des Eucalyptus. Rome, FAO. Projet N°6, FAO Comité de la recherche forestière méditeranéenne. FAO SCM/FR 70/2/10

———— (1977) : Etude de l'adaptation écologique des Eucalyptus, étude des provenances *d'Eucalyptus camaldulensis* (Projet FAO N°6). In. Troisième Consult. Mondiale sur l'amélioration des arbres forestiers. Canberra. Documents. (FAO : FTB - 77-2/29)

LA FARGE, T. (1974) : Genetic variation among and within three loblolly pine stands in Georgia. Forest Sci. 20 : 272-275

LARSEN, E. (1967) : Geographic variation in *Eucalyptus camaldulensis Dehn.* ANZAAS 3rd Congress, Melbourne

MATZIRIS, D. I. ; Zobel, B. J. (1973) : Inheritance and correlations of uvenile characteristics in loblolly pine (Pinus taeda L.). Silvae Genetica 22 (1/2) : 38-45

MERRILL, R. E. Mohn, C. A. ; Cromell, W. (1983) : Sur vival and height growth of a range-wide Black spruce provenance test in two sites in Minnesota. In Proc. of the Third North Central Tree Impr. Conf. Wooster, OH. 34-43

MORGENSTERN, E. K. ; Teich, A. H. (1969) : Phenotypic stability of height growth of jack pine provenances Can. Jour, Genet. Cytol. II :110-117

_____ (1971) : Stability parameters in provenance selection. Paper presented at the XVth IUFRO Congress, Gainesville, Florida, March 1971, 15 pp

NAMKOONG, G. ; Usanis, R. A. ; Silen, R. R. (1972) : Age-related genetic control of height growth in Douglas fir. Theoret. Genet. 42 : 151-159

Namkong, G. ; (1979) : Introduction to quantitative genetics in Forestry. US Dept Agr. For. Serv. Technical Bulletin N° 1588

NANSON, A. (1970): Juvenile and mature correlated trait selection and its effect on selection programs, p. 17-26. In Papers presented at the 2nd meeting of the Working Group ou Quantitative Genetics, Section 22, IUFRO, 1969 - USDA For. Serv. South Exp. Sta. New-Orleans, La

NETER, J. ; Wasserman, W. (1974) : Applied linear statistical models. Richard D. Irwin Inc.

NIENSTAEDT, H. (1968) : White spruce variation and adaptation to 14 planting sites in northeastern United States and Canada. Proc. Eleventh Meeg. Comm. Forest Tree Breeding, Canada 183-194

OWINO, F. ; Zobel, B.J. (1977) : Genotype x environment interaction and genotypic Stability in loblolly pine. I. General introduction and description of the experiment. Silvae Genetica 26 (1) : 18-21

OWINO, F. (1977) : Genotype x environment interaction and genotypic stability in loblolly pine. 11 Genotypic Stability comparisons. Silvae Genetica 26(1) : 21-26

OWINO F. (1977) : Genetype x environment interaction and genotypic stability in loblolly pine. IV Correlation studies. Silvae Genetica 26(5-6) : 176-179

PENDERSON, D. G. (1974) : The stability of varietal performance over years. 2. Analysing variety trials. Heredity 33 : 217-228

PERKINS, M. J. ; Jinks, J. L. (1968) : Environment and genotype-environmental components of variability. 3. Multiple lines and crosses. Heredity 23: 339-356

PINTHUS, M. J. (1973) : Estimate of genotypic value a proposed method. Euphytica 22 : 121-123

PRYOR, L. D. (1951 a> : Controlled pollination of Eucalyptus Proc. Linn Soc. N.S.W.76 : 135-139

../..

PRYOR, L. D. (1951 b) : A genetic analysis of some Eucalyptus Species. Proc. Linn. Soc. N. S. W. 76 : 140-148.

——— (1964 a) : Eucalyptus in the Sudan (Dactylographié)

——— (1964 b) : Report to the government of Lybia on aspects of afforestation with particular reference to Eucalyptus. Rome, FAO. FAO/EPTA Report n° 1863

ROME, P. R. , Andrew, R. H. (1964) : Phenotypic stability for a systematic series of corn genotypes. Crop Sci. 4 : 563-567

SADIO, S. (1984) : Comportement de quelques provenances d'*Eucalyptus camaldulensis Dehn.* sur différents types de sol et zones climatiques du Sénégal. Mémoire de confirmation 133 pp + annexes.

SEARLE, S. R. (1971) : Topics in variance component estimation. Biometrics 27 : 1-14

SEGARAN, S. (1979) : Comparative genotypic stability parameters in provenance selection as applied to twenty local provenances of Black spruce [Picea mariana (Mill) B.S.P] M. S. Rep. N° 79-4 Manitoba Dept Mines, Nat. Res. and Env. For. Dir. For. Managt. Sect. For. Gen. Prog.

SCHEFFE, H. (1959) : The analysis of variance. Wiley. New-York

SCHNELL, F. W. (1967) : Die methoden Zue Erfasung der Phänotypischen stabilitär von Zuchtsorten. Rundschr. 1/1967 Arbeitsgem. Biometrie. DLG. Pflanzenzuchtabt, 18-21

SCOTT, G. E. (1967) : Selection for stability of yield in maize. Crop Sci. 7:549-551

SHELBOURNE, C. J. A. (1962) : Tree bxeeding in Northern Rhodesia. Gvt Printer, Lusaka 7 pp

——— (1963) : Controlled pollination work with *Eucalyptus grandis* : Selfing Crossing, and hybridizing with *E. tereticornis*. For. Res. Pamphlet N° 7, Rhodesia 4 pp.

SQUILLACE, A. E. ; Gansel, C. R. (1974) : Juvenile-mature correlation in slash pine. For. Sci. 20 : 225-229

STEEL, R. G. D. ; Torrie, J. H. (1980) : Principles and procedures of statistics. A biometrical approach. 2nd edition. Mc GRAW Hill Book Co 633 pp

STEINHOFF, R. J. (1974) : Juvenile-maturocorrelations in pohderosa and western white pine. Pages 243-250. In : Proc. Joint IUFRO Meeting Working Parties, Pop and Ecol. Genet. Breeding Theavy and Progeny Testing.

TAI, G. C. C. (1971) : Genotypic stability analysis and its application to potato regional trials. Crop Sci. 11 : 184-190

.../...

TEICH, A. H. ; Holst, M. (1970) : Early survival and growth of Russian Pinus Sylvestris L. in Canada. For. Chron. 46 : 325-328

TEICH, A. H. ; Khalil, M. A. (1973) : Predicting potential volume growth by progeny testing white spruce plus strees. Can. For. Serv. , Bi-monthly Res. Note 29 : 27-28

TUKEY, J. W. (1953) : The problem of multiple comparisons. Princeton Univ. , Princeton, New-Jersey (Ditto)

TURESSON, G. (1922 a) : The species and the variety as ecological units. Hereditas 3 : 100-113

TURNBULL, J. W. (1973) : The ecology and variation of *Eucalyptus camaldulensis Dehn.* Borne, FAO. For. Genet. Resources Info. N° 2

——————— (1978) : Exploration and conservation of Eucalypt. gene resources. Third World Consult. on For. Tree Improv. Canberra. Documents (FAO-FTB - 77-1/4)

UTZ, H. F. (1972) : Die Zerlgung der Genotypx umwelt-- interaktionen. EDY in Medezin und Biologie 3 (2) : 52-59

VENKATESH, C. S. ; Kedharnath, S. (1965) : Genetic improvement of Eucalyptus in India Silvae Genetica 14 : 155-158

WEBB, C. D. (1963) : Juvenile-mature tree relationships. In Proc. 7th Southern Conf. on For Tree Impr. 55-58

WILCOX, M. D. ; Shelbourne, C. J. A. ; Firth, A. (1975) : General and specific combining ability in eight selected clones of radiata pine. New. Zealand Jour. For. Sci. 5 (2) : 219-225

WRICKE, G. (1962) : Über eine methode zur erfassung der Okologischen strenbreite in Feldversuchen. A. Pflanzenzucht, 47 : 92-96

WRIGHT, J. W. (1976) : Introduction to forest genetics. Academic Press, Inc. New-York, N. Y. 463 pp

YATES, F. ; Cochran, W. G. (1938) : The analysis of groups of experiments. Jour. Agr. Sci. Camb. , 28 : 556-589

YEATMAN, C. W. ; Venkatesh, C. S. (1974) : Parent-progeny correlation of budbreak in white spruce at Petawawa, Ontario. In Proc 21 st Northeastern Tree Impr. Conf. 58-65

YING, C. C. ; Morgenstern, E. K. (1979) : Correlations of height growth and heritabilities at different ages in white spruce. Silvae Genetica 28 (5-6) : 181-185.

ZOBEL, B. J. (1978) : Gene conservation as viewed by an applied forest tree breeder. Ecology and Forest Management 1 : 339-344.

Annexe 1 : Accroissements Annuels moyens sur la hauteur (en m) des diverses provenances d' *E. camaldulensis*

Age / 'rov	1	2	3	4	5	6	7
10574	0,53	2,80	2,81	0,88	0,87	0,21	0,63
8035	0,36	3,21	3,22	1,04	1,04	1,16	0,46
10571	0,36	3,39	3,39	1,17	1,16	0,68	0,15
8298	0,45	3,79	3,80	0,99	0,99	1,15	0,68
8396	0,48	3,09	3,06	1,12	1,12	1,05	0,55
8398	0,40	3,13	3,13	0,82	0,82	0,75	0,57
10558	0,75	3,57	3,57	0,89	0,89	1,00	0,51
10517	0,51	3,47	3,47	1,17	1,16	0,76	0,22
8411	0,51	3,46	3,47	1,01	1,01	0,84	0,45
6948	0,49	3,48	3,48	0,97	1,00	0,80	0,81
8039	0,39	3,09	3,09	0,91	0,91	1,01	0,38
10543	0,51	3,14	3,15	0,99	0,98	0,82	0,47

Annexe 2 / Accroissements cumulés sur la hauteur (m) des diverses provenances d'*E. camaldulensis*

Age / Prov	1	2	3	4	5	6	7
10574	0,53	3,33	6,14	7,02	7,89	8,09	8,70
8035	0,36	3,54	6,79	7,83	8,80	10,02	10,50
10571	0,36	3,75	7,75	8,32	9.47	10,15	10,30
8298	0,45	4,24	8,04	9,04	10,03	11,17	11,85
8396	0,48	3,64	6,65	7,88	8,89	9,95	10,49
8398	0,40	3,53	6,66	7,49	8,30	9,10	9,63
10558	0,75	4,30	7,88	8,77	9,50	10,65	11,17
10517	0,51	3,97	7,44	8,61	9,77	10,51	10,73
8411	0,51	3,97	7,44	8,44	9,54	10,29	10,74
6948	0,49	3,97	7,46	8,46	9,46	10,26	10,57
8039	0,39	3,48	6,57	7,48	8,39	9,39	9,78
10543	0,51	3,65	6,80	7,77	8,77	9,58	10,06

Annexe 3 : Accroissements annuels et accroissementsccumulés sur la hauteur (m) tous milieux confondus, des diverses provenances d'*E. microtheca*

Age / Prov	Accroissements annuels			Accroissements cumulés		
	1	2	3	1	2	3
1	1,43	1,23	0,87	1,43	2,67	3,54
2	1,78	1,59	0,88	1,78	3,41	4,28
3	1,53	1,42	0,87	1,53	2,95	3,82
4	1,46	1,30	0,80	1,46	2,76	3,55
5	1,48	1,29	0,86	1,48	2,76	3,62
6	1,61	1,23	0,61	1,61	2,81	3,37
7	1,84	1,43	0,82	1,84	3,27	4,08
8	1,53	1,25	0,62	1,53	2,78	3,40
9	1,65	1,38	0,76	1,65	3,02	3,78
10	1,50	1,60	1,10	1,50	3,10	4,19
11	1,49	1,29	0,72	1,49	2,78	3,50
12	1,73	1,58	0,85	1,73	3,44	4,17
13	1,76	1,79	1,23	1,76	3,55	4,78
16	1,55	1,59	1,05	1,55	3,13	4,18
17	1,60	1,80	1,oo	1,60	3,37	4,37
18	1,97	2.06	1,07	1,97	4,03	5,10
19	1,50	1,94	1,21	1,50	3,43	4,64
20	1,76	1,96	1,24	1,76	3,72	4,96
21	1,69	1,88	1,08	1,69	3,53	4,60
22	1,22	1,77	0,87	1,22	2,98	3,85

Annexe 4 : Accroissements annuels et par milieu sur la hauteur (m) des diverses provenances d'*E. microtheca*

Milieu / Age / Prov	BANDIA			KEUR MACTAR		
				1	2	3
1	1,32	0,85	0,74	1,54	1,62	1,01
2	1,63	1,08	0,63	1,93	2,10	1,12
3	1,49	0,94	0,49	1,57	1,90	1,25
4	1,42	0,89	0,39	1,50	1,70	1,20
5	1,30	0,72	0,48	1,65	1,86	1,23
6	1,43	0.75	0,34	1,79	1,70	0,88
7	1,74	0,97	0,55	1,93	1,89	1,08
8	1,35	0,86	0,52	1,71	1,65	0,73
9	1,43	0,76	0,59	1,87	1,99	0,93
10	1,33	1,03	0,95	1,67	2,17	1,24
11	1,27	0,72	0,49	1,71	1,87	0,94
12	1,46	1,08	0,68	2.00	2,09	1,03
13	1,54	1,16	0,85	1,98	2,42	1,62
16	1,29	1,05	0,78	1,81	2,13	1,33
17	1,47	1,16	0,74	1,73	2.44	1,26
18	1,76	1,49	0,66	2,19	2,63	1,47
19	1,19	1,38	0,90	1,81	2,49	1,51
20	1,43	1,37	0,85	2,09	2,55	1,63
21	1,47	1,45	0,79	1,91	2,32	1,38
22	0.88	1,12	0,48	1,57	2,41	1,25

Annexe 5 : Accroissements cumulés et par milieu sur la hauteur des diverses provenances d'*E.microtheca*

Milieu / Age / ?rov	BANDIA			KEUR MACTAR		
	1	2	3	1	2	3
1	1,32	2,16	2,90	1,54	3,17	4,18
2	1,63	2,71	3.35	1,93	4,10	5.22
3	1,49	2,42	2,91	1,57	3,48	4,73
4	1,42	2,32	2,71	1,50	3,20	4,40
5	1,30	2,03	2,51	1,65	3,50	4,74
6	1,42	2,03	2,37	1,79	3,59	4,37
7	1,74	2,72	3,27	1,93	3,82	4,90
8	1,35	2,20	2,72	1,71	3,36	4,08
9	1,43	2,19	2,78	1,87	3,85	4,78
10	1,33	2,36	3,30	1,67	3,84	5,08
11	1,27	1,99	2,48	1,71	3,57	4,52
12	1,46	2,54	3,21	2,00	4,34	5,12
13	1,54	2,70	3,55	1,98	4,40	6,01
16	1,29	2,36	3,11	1,81	3,92	5,25
17	1,47	2,56	3,30	1,73	4,18	5,43
18	1,76	3,26	3,92	2,19	4,81	6,28
19	1,19	2,57	3,47	1,81	4,30	5,81
20	1,43	2,80	3,65	2,09	4,64	6,27
21	1,47	2,83	3,61	1,91	4,23	5,86
22	0,88	1,99	2,47	1,57	3,98	5,26

ANNEXE 6 : Listing des Directives Genstat utilisées pour l'analyse de variance pour l'évaluation de l'essai provenance d'*Eucalyptus microtheca*.

```
                    GENSTAT V      MARK 4.03.
1980 LAWES AGRICULTURAL TRUST (ROTHAMSTED EXPERIMENTAL STATION)
     INSTALLE AU C.R.O.D.T. PAR PROFESSEUR F. LALOE.

1    'REFE'
2    'UNIT' $480
3    'NAME' NP = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,16,17,18,19,20,21,22
4    'FACT' PROV$NP : BLOC$4 : AGE$3 : MILIEU$2
5    'INPUT'3
6    'READ/NUN = Q'PROV, AGE, MILIEU, BLOC, AAC, ACA, TS$F, 2,1,1,1,4,4,3,/
7    'INPUT'1
8    'RUN'
9    'TREAT' PROV* (AGE + MILIEU + BLOC)
10   'ANOVA'AAC, ACA, TS  ; RES = RAAC, RACA, RTS
11   'HIST'RAAC, RACA, RTS    'REGR/PRIN = C'RAAC, RACA, RTS
```

ANNEXE 7 : Listing des Directives utilisées pour l'analyse de la variance avec logiciel Genstat pour l'évaluation de l'essai Provenance d'*Eucalyptus camaldulensis*.

```
                GENSTAT V          MARK 4. 03

1980 LAWES AGRICULTURAL TRUST (ROTHAMSTED EXPERIMENTAL STATION)
     INSTALLE AU C.R.O.D.T. PAR PROFESSEUR F. LALOE

1    'REFE/NID = 1000'
2    'UNIT' $252
3    'NAME' NP = 10574, 8035,10571,8298,8396,8398,10558,10517,8411,6948,8039,10543
4    'FACT' PROV$NP : BLOC$3 : AGE$7
5    'INPUT'3
6    'READ/NUN = Q'PROV, AGE, BLOC, AAC, ACA$F, 5,1,1,5,4,/
7    'INPUT'1
8    'RUN'
9    'TABLE/M'TT$PROV, BLOC, AGE
10   'TABU'AAC;;TT
11   'PRIN'TT$5
12   'TREA'PROV* (AGE + BLOC)
13   'ANOVA'AAC,ACA,  ; RES = RAAC, RACA 'HIST'RAAC, RACA
14   'RUN'
```

ANNEXE 8 : Listing des Directives de calcul des correlations phenotypiques avec Genstat.

GENSTAT V MARK 4.03

1980 LAWES AGRICULTURAL TRUST (ROTHAMSTED EXPERIMENTAL STATION)
INSTALLE AU C.R.O.D.T. PAR PROFESSEUR F. LALOE.

```
1  ' 'REFE'
2    'UNIT'$36
3    'NAME'NP = 10574,8035,10571,8298,8396,8398,10558,10517,8411,6948,8039,
4    10543
5    'FACT'PROV$NP
6    'READ'PROV, REP, H1, H3, H7, C3, C7$F, 5,1,4,4(5),/
7    'REGR/PRIN = SC'H1, H3, H7, C3, C7
8    'PCP/CORR = Y, PRIN = L'H1, H3, H7, C3, C7
9    'RUN'
```