

Adaptation des provenances de *Eucalyptus urophylla* au Congo

Raphaël Gouma

E*ucalyptus urophylla* est l'une des deux espèces du genre *Eucalyptus* qui a une aire naturelle de répartition en dehors de l'Australie, l'autre étant *E. deglupta*. *E. urophylla* est la plus variable du point de vue morphologique : formes naines en altitude, écorce allant de lisse à rugueuse, graines et fruits différents en fonction de l'altitude [1]. À partir des années 80, cette espèce a été largement plantée en zones tropicales et sub-tropicales. Au Congo, plus de 85 provenances et 500 descendances ont été introduites ; *E. urophylla* s'est bien adapté et présente un intérêt comme parent d'hybrides d'avenir pour les plantations industrielles. Il importe de cerner la variabilité de l'espèce pour mieux gérer la ressource et constituer des « populations d'amélioration » pour la sélection récurrente réciproque des hybrides (*E. urophylla* × *E. grandis* et *E. urophylla* × *E. pellita*) [2]. La présente étude porte sur ce sujet. En 1973, le CTFT (actuel CIRAD-Forêt) a récolté des graines d'*Eucalyptus urophylla* dans cinq îles de la Sonde : Adonara, Florès, Lombok, Timor indonésien et Timor portugais (ces deux dernières faisant partie administrativement de l'île de Timor), en vue de leur introduction au Congo. Au total, 70 provenances regroupant 320 descendances ont

été installées à Loandjili et 328 à Loudima, Timor portugais et Florès se partageant les deux tiers des effectifs. L'ensemble des individus issus du même arbre (descendance libre) correspond ici au numéro du semencier, et la « provenance » regroupe plusieurs descendances issues d'une même zone géographique de surface limitée (en général un peuplement).

L'essai de Loandjili a été installé entre janvier et février 1974 sous forme de 8 grandes parcelles comprenant entre 20 et 50 descendances. L'essai était totalement randomisé, avec des descendances représentées chacune une seule fois et réparties au hasard ; quelques provenances ne possèdent qu'une seule descendance. Le plateau élémentaire comporte entre 10 et 50 plants. Mis en place à une densité de 1 600 plants à l'hectare avec une fertilisation de départ de 150 grammes par plant d'engrais complet NPK (10-10-20), l'essai couvre une surface de 12 hectares sur un terrain relativement plat en sol sableux ou sablo-argileux. Une éclaircie sélective au taux de 50 % a été réalisée dans ce peuplement [3].

L'essai de Loudima mis en place en novembre 1973 comporte sept blocs et deux répétitions. Le plateau élémentaire étant constitué de 5 × 5 plants d'une descendance, le bloc est représenté par 28 à 113 placeaux. La plantation s'est faite sans fertilisation de départ, à une densité de 1 600 plants par hectare, sans éclaircie. Les sols profonds argileux ou argilo-sableux de cette région sont considérés comme les plus fertiles du pays.

Le matériel végétal expérimenté vient d'une zone constituée de différentes îles,

qui pourraient être considérées comme des entités plus ou moins homogènes biologiquement. Notre étude aborde selon le cas l'analyse des effets « île », « provenance » ou « provenance dans l'île », « l'altitude de récolte des graines » sur l'adaptation et la forme enregistrées *ex situ* au Congo.

Dans le cas de Loandjili, le choix s'est porté sur un modèle général d'analyse de variance permettant d'assembler tous les effets recherchés en utilisant un modèle hiérarchique à effets fixes :

$$Y_{ijk} = \mu + I_i + P_{j(i)} + R_{ijk} \text{ [modèle 1]},$$

où μ est la moyenne générale ; Y_{ijk} est la valeur de la descendance « k » (répétée une seule fois), appartenant à la provenance « j » au sein de l'île « i » ; I_i est l'effet île « i », effet fixe (« i » varie de 1 à 5) ; $P_{j(i)}$ est l'effet provenance « j » dans l'île « i », effet fixe pouvant varier de 2 à 48 ; R_{ijk} est la résiduelle (variable aléatoire).

En ce qui concerne Loudima, on a réalisé deux analyses de variance à effets fixes : la première concerne le modèle :

$$Y_{ik} = \mu + I_i + B_k + R_{ik} \text{ [modèle 2]},$$

où μ est la moyenne générale ; Y_{ik} est la valeur de l'île « i » dans le bloc « k » ; I_i est l'effet de l'île « i », effet fixe ; B_k est l'effet bloc « k » ; R_{ik} est l'effet résiduel, variable aléatoire. La deuxième a pour expression mathématique :

$$Y_{jk} = \mu + P_j + B_k + R_{jk} \text{ [modèle 3]},$$

où μ est la moyenne générale ; Y_{jk} est la valeur de la provenance « j » dans le bloc « k » ; P_j est l'effet provenance « j », effet fixe ; B_k est l'effet bloc « k » ; R_{jk} est l'effet résiduel, variable aléatoire.

R. Gouma : Unité de recherche sur la productivité des plantations industrielles (UR2PI), Programme matériel végétal, BP 1291, Pointe-Noire, Congo.

Tirés à part : R. Gouma

Ces analyses ont été effectuées en utilisant la procédure PROC GLM type III du logiciel SAS [4] et la comparaison des performances moyennes des îles par le test de Bonferroni. Pour les provenances qui sont plus nombreuses, nous établissons la concordance des valeurs obtenues sur les deux sites. Enfin, la relation performance au Congo et altitude de récolte a été étudiée à partir des moyennes par provenance ; des calculs de régression linéaire simple sont réalisés entre l'altitude de récolte des graines, la mortalité et la rectitude par la procédure PROC REG [4].

Deux séries d'observations sont impliquées dans l'étude : celles de 1977 (où l'estimation de la mortalité a été effectuée à Loandjili à 37 mois et à Loudima à 39 mois, les résultats étant exprimés par Mort77 en %) et celles de 1994 (dans lesquelles la rectitude Rec94 est estimée dans les deux sites, la mortalité n'étant prise en compte qu'à Loudima Mort94 en %), les deux essais ayant à ce moment 21 ans. La rectitude est exprimée par une note comprise entre 1 (meilleure) et 5 (plus mauvaise). Les analyses de variance ont été réalisées après une transformation angulaire de la mortalité, afin de rendre cette variable asymptotiquement normale [5].

Résultats

Le modèle 1 concerne l'essai de Loandjili et les modèles 2 et 3 l'essai de Loudima (tableaux 1 et 2).

Les effets « île » et « provenance dans île » sur l'adaptation et la forme à la station de Loandjili sont bien marqués, mais l'effet « île » est prépondérant. Les résultats concernant l'essai de Loudima sont repris au tableau 2.

Il ressort des analyses des modèles 2 et 3 que les effets îles et provenances sont bien prononcés sur l'adaptation à Loudima tant dans le jeune âge qu'à 21 ans. Les mêmes effets sont également observés sur la rectitude, à 21 ans.

Le classement des « îles » par rapport à la mortalité est indiqué dans le tableau 3.

On obtient un même classement pour la variable Mort77 à Loandjili et à Loudima. Ce résultat se maintient en 1994 à Loudima. Lomblen et Florès ont la meilleure adaptation dans les deux sites congolais, la partie indonésienne de Timor et Adonara étant les plus mauvais.

Tableau 1

Analyse de variance (modèle 1) pour les variables mortalité (Mort77) et rectitude (Rec94) de *Eucalyptus urophylla* à Loandjili (Congo)

Variable	Source de variation	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	Valeur de F	Pr > F
Résultats de l'analyse du modèle 1						
Mort77	Île	4	2,1317	0,5329	9,52	0,0001
	Provenance dans île	65	5,9121	0,0909	1,62	0,0045
	Résiduelle	250	13,9977	0,0560		
Rec94	Île	4	27,9415	6,9853	16,16	0,0001
	Provenance dans île	61	46,1122	0,7559	1,75	0,0017
	Résiduelle	236	101,9937			

Variance analysis (model 1) for mortality (Mort77) and form (Rec94) in *Eucalyptus urophylla* (Loandjili, Congo)

Tableau 2

Analyse de variance pour les variables Mort77, Mort94 et Rec94 de *Eucalyptus urophylla* à Loudima (Congo)

Variable	Source de variation	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F	Pr > F
Résultats de l'analyse du modèle 2						
Mort77	Île	4	1,5500	0,3875	6,93	0,0001
	Bloc	6	0,4074	0,0679	1,21	0,2969
	Résiduelle	520	29,0636	0,0559		
Mort94	Île	4	11,9457	2,9864	46,53	0,0001
	Bloc	6	1,9613	0,3268	5,09	0,0001
	Résiduelle	520	33,3778	0,0642		
Rec94	Île	4	16,9642	4,2410	9,25	0,0001
	Bloc	6	49,6080	8,2680	18,03	0,0001
	Résiduelle	496	227,4148	0,4585		
Résultats de l'analyse du modèle 3						
Mort77	Provenance	69	6,9010	0,1000	1,92	0,0001
	Bloc	6	0,2605	0,0434	0,83	0,5447
	Résiduelle	455	23,7126	0,0521		
Mort94	Provenance	69	26,2943	0,3811	9,11	0,0001
	Bloc	6	1,1076	0,1845	4,41	0,0002
	Résiduelle	455	19,0291	0,0418		
Rec94	Provenance	68	74,2628	1,0921	2,77	0,0001
	Bloc	6	36,7099	6,1183	15,54	0,0001
	Résiduelle	432	170,1163	0,3938		

Variance analysis for mortality and form in *Eucalyptus urophylla* (Loudima, Congo)

Le classement des îles par rapport à la rectitude à 21 ans est repris au tableau 4. Florès est meilleure pour la rectitude à Loandjili. À Loudima, Lomblen est mal classé, Florès conservant la première place avec la partie portugaise de Timor. Dans l'ensemble les résultats sur la rectitude sont moins bons à Loudima qu'à Loandjili. Les distributions des notes de

rectitude (figures 1 et 2) en fonction des provenances montrent une variabilité plus grande pour Loandjili que pour Loudima, avec des effectifs plus importants des meilleures notes (comprises entre 1 et 1,9) dans le premier cas.

L'effet de l'altitude de récolte des graines d'*E. urophylla* sur les performances des arbres au Congo a été noté antérieure-

Tableau 3

Classement des îles d'origine pour la mortalité de *Eucalyptus urophylla* (Mort77 et Mort94) par le test de Bonferroni au seuil de 5 %

Mortalité à 37 mois à Loandjili (suite de l'analyse du modèle 1)					
Mort77 (%)	Île d'origine	Timor indonésien	Adonara	Timor portugais	Florès
36,06	Timor indonésien	–			
26,67	Adonara	ns	–		
23,80	Timor portugais	*	ns	–	
23,07	Florès	*	ns	ns	–
10,33	Lomblen	*	ns	*	ns

Mortalité à 39 mois à Loudima (suite de l'analyse du modèle 2)					
Mort77 (%)	Île d'origine	Adonara	Timor indonésien	Timor portugais	Florès
47,37	Adonara	–			
34,76	Timor indonésien	ns	–		
22,43	Timor portugais	ns	*	–	
20,06	Florès	*	*	ns	–
14,70	Lomblen	*	*	*	ns

Mortalité à 21 ans à Loudima (suite de l'analyse du modèle 2)					
Mort94 (%)	Île d'origine	Timor indonésien	Adonara	Timor portugais	Florès
78,96	Timor indonésien	–			
56,14	Adonara	*	–		
53,39	Timor portugais	*	ns	–	
34,26	Florès	*	ns	*	–
26,02	Lomblen	*	ns	*	ns

* Significatif au seuil de 5 % ; ns : non significatif.

Classification of islands of origin for mortality in *Eucalyptus urophylla* (Mort77 and Mort94) in the Congo using Bonferroni's test (5 % confidence interval)

Tableau 4

Classement des îles pour la rectitude de *Eucalyptus urophylla* (Rec94) par le test de Bonferroni au seuil de 5 %

Rectitude moyenne à 21 ans à Loandjili (suite de l'analyse du modèle 1)					
REC94 (note de 1 à 5)	Île d'origine	Adonara	Timor indonésien	Timor portugais	Lomblen
3,11	Adonara	–			
3,09	Timor indonésien	ns	–		
2,67	Timor portugais	ns	ns	–	
2,65	Lomblen	ns	ns	ns	–
1,88	Florès	*	*	*	*

Rectitude moyenne à 21 ans à Loudima (suite de l'analyse du modèle 2)					
REC94 (note de 1 à 5)	Île d'origine	Adonara	Lomblen	Timor indonésien	Timor portugais
3,12	Adonara	–			
2,87	Lomblen	ns	–		
2,56	Timor indonésien	ns	ns	–	
2,51	Timor portugais	ns	*	ns	–
2,51	Florès	ns	*	ns	ns

* Significatif au seuil de 5 % ; ns : non significatif.

Classification of islands in terms of form in *Eucalyptus urophylla* (Rec94) using Bonferroni's test (5 % confidence interval)

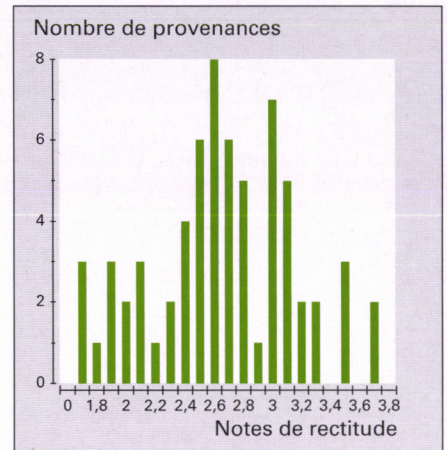


Figure 1. Distribution des rectitudes de *Eucalyptus urophylla* à 21 ans (Loandjili, Congo).

Figure 1. Distribution of form in *Eucalyptus urophylla* at 21 years (Loandjili, Congo).

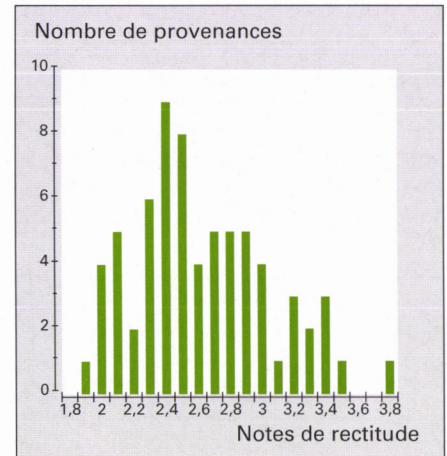


Figure 2. Distribution des rectitudes de *Eucalyptus urophylla* à 21 ans (Loudima, Congo).

Figure 2. Distribution of form in *Eucalyptus urophylla* at 21 years (Loudima, Congo).

ment [2, 3, 6-8]. Une analyse de régression linéaire simple a été menée (figure 3), qui montre que l'altitude de récolte des graines est liée avec la mortalité à Loudima à 21 ans.

Conclusion

L'adaptation et la forme des provenances des *Eucalyptus urophylla* introduits dans deux sites congolais (Loandjili et Loudima) en 1973 sont en étroites relations avec leurs origines de récolte dans l'aire

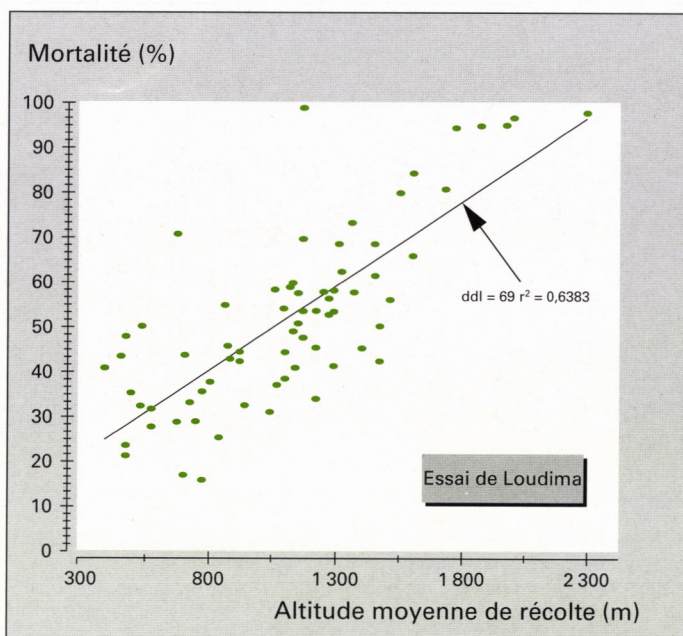


Figure 3. Relation entre la mortalité à 21 ans de *Eucalyptus urophylla* à Loudima (Congo) et l'altitude de récolte des graines d'origine.

Figure 3. Correlation between the altitude at which a *Eucalyptus urophylla* local seed population was harvested and mortality at 21 years (Loudima, Congo).

naturelle. L'effet « île » est fortement marqué, pour ces deux critères, mais il s'exprime plus tardivement pour l'adaptation à Loudima. Lomblen et Florès sont les îles les plus adaptées pour le Congo, Florès étant par ailleurs celle qui de loin présente des arbres de meilleure conformité. La provenance est également source de variabilité, avec un « effet provenance » et un autre effet « provenance dans île ». L'altitude de récolte des graines dans l'aire naturelle de répartition de l'espèce s'avère déterminante sur l'adaptation de ce matériel, les provenances de basses altitudes étant les plus longévives dans les conditions écologiques du Congo, ce qui est important dans le cadre de la conservation des ressources génétiques. Enfin, en ce qui concerne les « effets environnementaux », le dispositif expérimental ne permet pas de dégager de conclusions suffisamment fiables ■

Références

1. Martin B. *Amélioration génétique des eucalyptus tropicaux. Contribution majeure à la foresterie clonale.* Thèse de Doctorat en sciences Université de Paris-Sud, Centre d'Orsay, Paris XI. 1987 ; fascicule 2, annexes.
2. Vigneron P. Aspects de l'amélioration génétique des eucalyptus au Congo. In : *Séminaire CIRAD Amélioration génétique des arbres forestiers et des plantes pérennes.* Montpellier : CIRAD-Forêt, 1989 ; 17 p.
3. Sinoir M. Essais sur les provenances d'*Eucalyptus urophylla* (Blake) au Congo : Pointe-Noire, Congo : CTFT, note interne, 1984 ; 15 p.
4. SAS. *SAS/STAT user's guide*, release 6.03, SAS. Cary, NC : Institute inc., 1988 ; 1 028 p.
5. Dagnelie P. *Théorie et méthodes statistiques. Applications agronomiques.* Gembloux : Presses agronomiques de Gembloux, Vol. II, 1975 ; 463 p.
6. Brezard JM. *Les eucalyptus introduits au Congo.* Pointe-Noire, Congo : CTFT, note interne, 1982 ; 150 p.
7. Gouma R. *Synthèse des introductions de l'Eucalyptus urophylla dans le cadre des essais internationaux.* Analyse de l'essai 73.1 à 8 de Loandjili. Pointe-Noire, Congo : UR2PI, 1996 ; 22 p.
8. Gouma R. *Synthèse des introductions de l'Eucalyptus urophylla dans le cadre des essais internationaux (FAO/CTFT/CSIRO).* Pointe-Noire, Congo : UR2PI, 1996 ; 25 p.

Summary

Adaptation and form of some *Eucalyptus urophylla* local populations in Congo

R. Gouma

Eucalyptus were first introduced in Congo-Brazzaville in 1953. Since then, 63 different species have been introduced that produce large quantities of firewood, charcoal and wood pulp. About 10 species thrive in Congolese ecosystems. Since 1960, successful hybrids have been developed from these species – a eucalyptus genetic improvement programme was therefore set up to create suitable hybrid populations. *Eucalyptus urophylla* is the species that produces the best hybrids after crossing (through a reciprocal recurrent selection programme [2]), with good biomass yields. There is especially high variability within suitable species, thus strengthening the "improved populations" for selection. In 1973, a CTFT (now CIRAD-Forêt) seed-gathering mission to the Sunda Isles focused on two eucalyptus species: *E. urophylla* and *E. alba* [1]. Seventy different *E. urophylla* rootstocks were planted in 1973 at two locations in the southern Congo (Loudima and Loandjili). In Loandjili, seeds from different trees of the same origin, were planted together at random. In Loudima, seeds from the same tree were planted together, with two replicates. The "island origin" effects in Loandjili, and "island" "origin" and "block" effects in Loudima were analysed in terms of form and adaptability. Another test was conducted to check the effect of altitude on tree form and adaptability in the Congo. "Island", "origin", and "origin within the Island" affected both form and adaptability, with "island" having a significant effect. The "altitude effect" was significant after 21 years in Loudima.

Cahiers Agricultures 1998 ; 7 : 403-6.