

JEAN-PIERRE BOUILLET
GEORGES RAKOTOVAO
avec la collaboration de
MARCEL LEFEVRE

ÉCLAIRCIE DE RATRAPAGE DE *PINUS KESIYA* À MADAGASCAR

En 1984, les plantations bien venantes de *Pinus kesiya* de plus de onze ans couvraient 10 000 ha du massif de la Fanalamanga à Madagascar.

Cet article présente les résultats d'un essai portant sur des éclaircies de rattrapage appliquées à ces peuplements âgés.



Parcelle de 20 ans, six ans après éclaircie à 300 tiges/ha.

Plot with 300 remaining stems per ha, 6 years after thinning. Plot age: 20 years.

Depuis 1969, la Fanalamanga a mis en place dans la région du Mangoro 70 000 hectares de pins dont environ 50 000 de *Pinus kesiya*. L'objectif initial de ce reboisement était la fourniture de pâte à papier. Cependant des changements survenus dans la situation nationale et internationale ont conduit, à partir de 1984, à réorienter les objectifs, les plantations étant destinées à des usages multiples et, en particulier, à la fourniture de bois d'œuvre pour les meilleurs peuplements (environ 35 000 hectares).

Deux questions se sont alors posées :

- Quel régime d'éclaircies appliquer aux peuplements jeunes (7-11 ans) pour obtenir à 25-30 ans des tiges de 45 à 55 cm de diamètre sur écorce, à 1,30 m ?
- Existe-t-il une possibilité de rattraper des peuplements bien venants mais déjà âgés (12 ans et plus) n'ayant jamais bénéficié d'éclaircies, car leur superficie importante représente un enjeu considérable.

ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Sylviculture et production

Il est connu que les éclaircies augmentent l'accroissement radial des tiges restantes (LANIER, 1986). Celles-ci bénéficient d'une diminution de la concurrence du voisinage (BARCLAY et LAYTON, 1990) et d'un meilleur développement de leur houppier (MITCHELL, 1975). Cette réaction aux éclaircies a été observée, par exemple, sur *Picea abies* (BARNEAUD et SEFFRE, 1971 ; BONDUELLE, 1978 ; JOVER, 1978),

Bien qu'il ne traite pas directement de ce sujet, un travail antérieur (BOUILLET, 1993) a déjà fait mention d'un certain nombre de points développés dans cet article.

Picea rubens (BARBOUR *et al.*, 1992), *Pinus pinaster* (CHAPERON, 1986), *Pinus radiata* (WOOLENS et WHITE, 1989), *Pinus resinosa* (MORROW, 1974), *Pinus patula* (ADLARD, 1980) et *Pseudotsuga menziesii* (BONDUELLE, 1978 ; DE CHAMPS, 1990).

L'intérêt d'augmenter le diamètre moyen des arbres tient au fait que le prix du bois sur pied augmente plus vite que le diamètre des tiges (CHAPERON, 1986) : pour une durée de révolution donnée, le prix du m³ sur pied sera plus élevé ou, pour un diamètre moyen requis, la durée de révolution des peuplements sera diminuée.

Le taux interne de rentabilité tendra donc à être plus élevé, à condition cependant que :

- les éclaircies n'entraînent pas de perte notable de production au niveau du peuplement,
- le prix de vente de la récolte finale soit assez élevé pour compenser

cette éventuelle perte de production et les frais liés aux éclaircies.

Sur *Pinus kesiya*, différentes études effectuées à Madagascar (BOUILLET, 1991 ; BOUILLET et LEFEVRE, 1989, 1990 ; LOUPPE et LEFEVRE, 1986 ; RAKOTONDRAINIBE, 1994), aux Philippines (ORALLO, 1986) ou en Tanzanie (SARAMAKI, 1992) mettent en évidence la forte réaction individuelle des arbres à des éclaircies intenses et précoces sans pertes importantes de production au niveau des peuplements. RAKOTONDRAINIBE (1994) montre ainsi que 5 éclaircies (la dernière à 13 ans) faisant passer la densité de 2 000 à 300 tiges/ha augmentent à 20 ans la circonférence moyenne sur écorce à 1,30 m des 300 plus belles tiges/ha de 29 cm (103/74 cm) pour une perte en volume total de 1,5 m³/ha/an (380 m³/ha/410 m³/ha). Suite à ces résultats une sylviculture intensive a été appliquée par la Fanalamanga sur ses



Parcelle-témoin âgée de 20 ans.
A 20-year-old control plot.

jeunes plantations (40 à 50 % des tiges enlevées en première éclaircie).

La réaction des arbres à des éclaircies tardives n'a par contre fait, à notre connaissance, l'objet d'aucune étude sur cette espèce et d'une manière générale n'a été que très peu abordée dans le cas des pins tropicaux.

Technologie

Les éclaircies entraînent une augmentation de la largeur des cernes, dont l'impact sur les propriétés physiques et mécaniques du bois est très variable.

Impact négatif

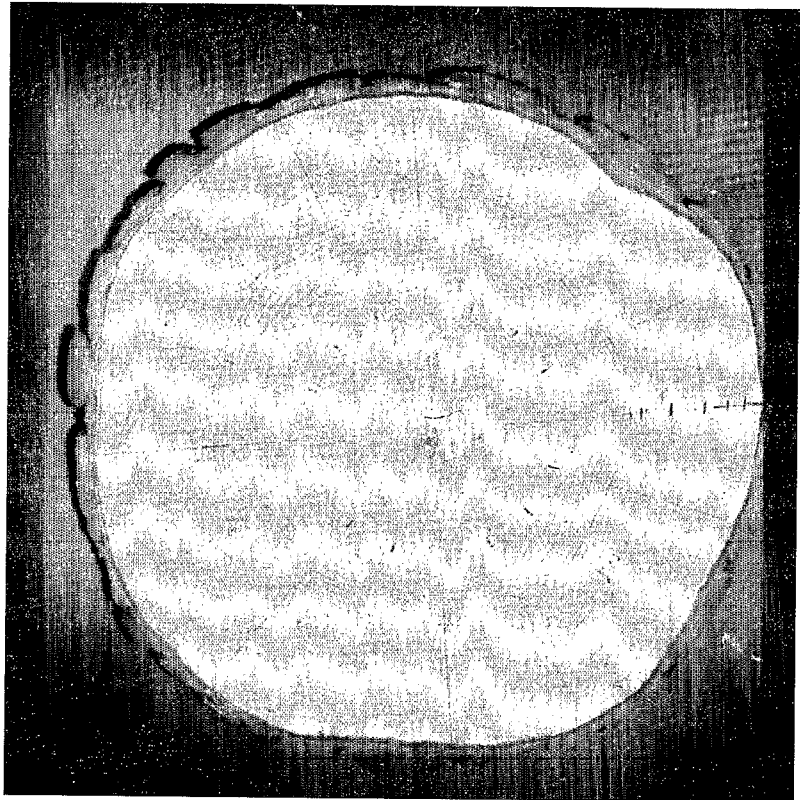
- MOTHE *et al.* (1991) posent comme principe général que, pour les résineux tempérés, l'augmentation de la largeur des cernes s'accompagne d'une diminution de la densité du bois liée à une plus grande proportion de bois initial.

- NEPVEU (1988) montre que sur *Abies alba*, *Abies grandis*, *Picea abies*, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* et *Pseudotsuga menziesii* la valeur du module d'élasticité diminue quand la largeur des cernes augmente ; à l'exception de *Pseudotsuga menziesii*, le bois ne peut plus être utilisé en structure à partir d'une largeur de cernes de 4 mm.

- Pour LEBAN *et al.* (1991) la largeur de cernes maximale pour une utilisation en structure est de 5 mm sur *Picea sitchensis* et de 3 mm sur de petits *Picea abies* ; pour cette dernière espèce, ce type de résultats remet en cause la pertinence des éclaircies fortes pratiquées en France (HOULLIER, 1993, comm. pers.).

Impact faible à nul

- Sur *Pseudotsuga menziesii*, MEGRAW et NEARN (1972), cités par MOSCHLER *et al.* (1989), montrent que la densité basale moyenne du



Rondelle à 1,30 m d'un arbre dominant éclairci à 300 tiges/ha. Les marques bleues à droite correspondent à la limite des cernes annuels après éclaircie.
Disk at breast height on a dominant tree cleared to leave 300 stems per ha. The blue marks on the right are the limits of the annual rings after thinning.

bois n'est que très faiblement influencée par les éclaircies ; pour MELIN et RIOU-NIVERT (1985) les propriétés mécaniques du bois sont comparables pour des individus plantés à 500 et à 2 000 tiges/ha.

- Sur *Pinus taeda*, CREGG *et al.* (1988) ne notent pas de diminution de la densité anhydre avec les éclaircies ; les mêmes observations sont faites par MOSCHLER *et al.* (1989) qui mettent, par contre, en évidence une plus forte hétérogénéité intracernes pour les individus éclaircis.

- Sur *Pinus patula*, MALIMBWI *et al.* (1992) n'observent pas de différence sur l'infradensité à 19 ans entre

des arbres plantés à 7 830 et à 1 010 tiges/ha.

Impact positif

- VAN LEAR *et al.* (1977) notent sur *Pinus palustris* une augmentation de la densité anhydre avec la largeur des cernes, liée à une plus forte proportion de bois final.

- Pour SMITH (1968), cité par MOSCHLER *et al.* (1989), les éclaircies peuvent augmenter la densité du bois de *Pinus elliotii*.

- Une meilleure homogénéité de densité intracerne est relevée, pour les résineux tempérés, sur les individus à larges accroissements (MOTHE *et al.*, 1991).



Concernant les *Pinus kesiya* des Hauts Plateaux de Madagascar, GUENEAU (1970) avance que des cernes de plus de 10mm empêchent l'utilisation du bois en structure mais l'auteur ne précise pas si ce résultat concerne le bois juvénile ou mature. En revanche, dans la région du Mangoro, il a été montré que des éclaircies répétées à des intervalles réguliers (dispositif CCT Plots) ne déprécient pas la qualité du bois produit (D.R.F.P./FOFIFA, 1992).

- pouvoir apprécier l'influence d'une éclaircie tardive sur la qualité du bois en comparant certaines propriétés du bois mature formé avant et après intervention,
- avoir des informations sur la qualité des produits transformés (sciages avivés) ; on peut penser que le changement éventuel de la qualité du bois, lié à la variation brusque du rythme de croissance radiale, conduit à produire des sciages présentant de fortes défor-

mations (gauchissement, voilement, gondolement, déformation en V avec pliure au niveau du changement de rythme de croissance...) et « travaillant » beaucoup.

CONDITIONS EXPÉRIMENTALES

Localisation-altitude

L'essai N° 77 se situe à Sahamaitso, à 20 km au nord d'Analabe

OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

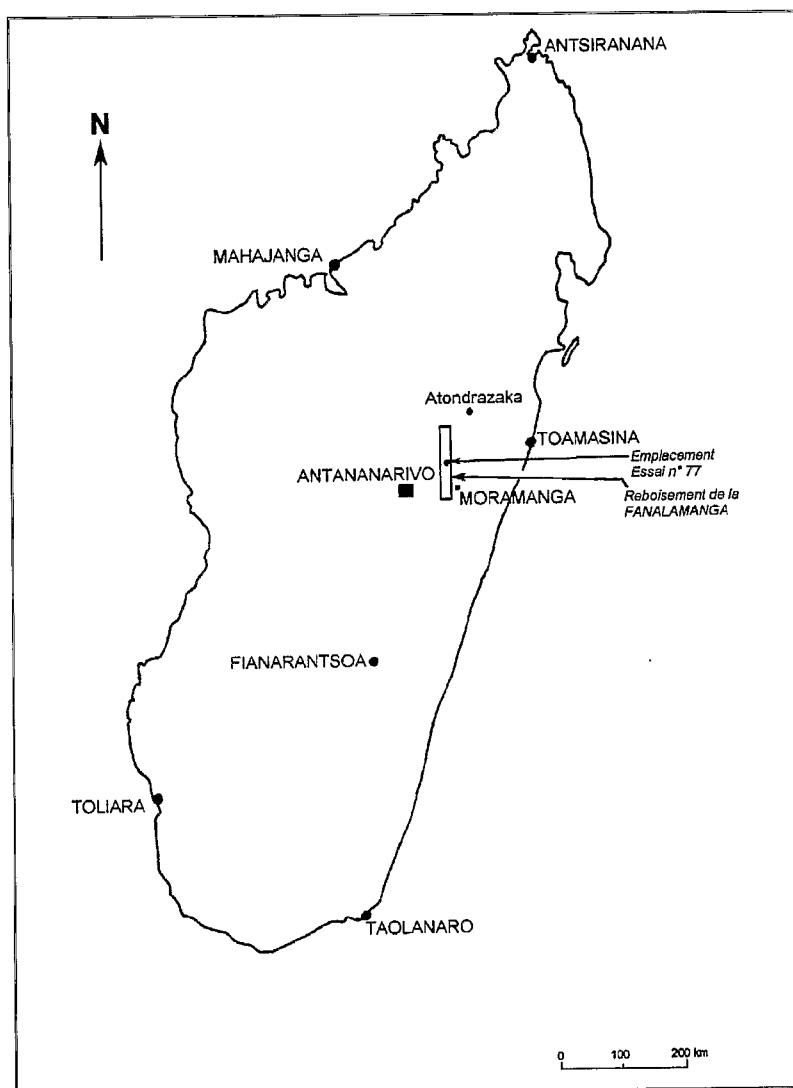
Sylviculture et production

Le rattrapage de plantations âgées productives peut-il s'envisager ? Pour répondre à cette question, deux essais d'éclaircie ont été mis en place sur des peuplements de *Pinus kesiya* de 14 ans. Le premier a été détruit après 1,5 an par un cyclone, exceptionnel dans cette région de Madagascar. Bien que très partiels, les résultats semblaient montrer (BOUILLET et LEFEVRE, 1987) que, vu la très forte réaction des tiges éclaircies, le rattrapage de telles plantations était envisageable. La nécessité de pouvoir conclure définitivement a justifié une deuxième expérimentation. Le premier objectif de cette étude est de faire le point sur la croissance et la production des différents traitements testés, six ans après leur mise en place.

Technologie

Même s'il apparaît que les peuplements réagissent fortement à des éclaircies de rattrapage, on ne pourra conclure au bien-fondé de telles interventions que si celles-ci autorisent la production de bois d'œuvre de qualité, objectif principal de la Fanalamanga.

Cette étude doit ainsi permettre de :



Situation géographique du reboisement de la Fanalamanga et de l'essai N° 77.
Geographical location of Fanalamanga plantings and the trial N° 77.



(longitude 48° E, latitude 19° S) dans le Département Centre du massif de la Fanalamanga (cf. carte p. 8), sur des plateaux portant des peuplements bien venants. L'altitude est d'environ 950 mètres.

Climatologie

Le climat est tropical d'altitude, humide à influence orientale. La pluviométrie annuelle est d'environ 1 500 mm avec une saison de végétation de novembre à mars (85 % des précipitations). La température moyenne annuelle est d'environ 20 °C avec une moyenne aux alentours de 26 °C pour les maxima et de 14 °C pour les minima.

Historique des plantations

La plantation a eu lieu en décembre 1973 sur sous-solage billonage avec fertilisation de 75 g par plant de PK 24-12. La densité théorique était de 1 370 tiges/ha (écartement 2,7 m × 2,7 m). En septembre 1987, à l'installation de l'essai, les caractéristiques des peuplements étaient les suivantes :

- Densité réelle : de 1 100 à 1 500 tiges/ha pour 11 des 16 parcelles (valeurs extrêmes : 870 et 1 720 tiges/ha).
- Hauteur dominante : entre 19,7 m et 22,3 m.
- Surface terrière : de 36,7 à 52,8 m²/ha (de 2,62 à 3,77 m²/ha/an).
- Volume sur écorce : de 346 à 488 m³/ha (de 24,7 à 34,9 m³/ha/an).

PROTOCOLE ET DISPOSITIF

Traitements

Quatre traitements sont comparés :

- T₀ : Témoin non éclairci (1330 tiges/ha en moyenne).
- T₁ : Eclaircie sélective laissant 600 tiges à l'hectare.

- T₂ : Eclaircie sélective laissant 450 tiges à l'hectare.
- T₃ : Eclaircie sélective laissant 300 tiges à l'hectare.

Résultats attendus

Le but de cet essai est de répondre aux questions :

- Les arbres réagissent-ils à l'éclaircie et à partir de quelle intensité d'intervention ?
- Quel est le régime optimal d'éclaircie à adopter ?

Aussi la comparaison des traitements a-t-elle été prévue de la façon suivante (pour une surface de référence d'un hectare) :

- Les 600 plus beaux arbres du témoin avec les 600 du traitement T₁.
- Les 450 plus beaux arbres du témoin avec les 450 de T₁ et le traitement T₂.
- Les 300 plus beaux arbres du témoin avec les 300 de T₁ et T₂ et le traitement T₃.

Par beaux arbres on entend ceux, gros et bien conformés, qui auraient

été gardés si une éclaircie avait été marquée aux densités indiquées (600, 450 et 300 tiges/ha).

L'objectif est d'obtenir, pour les surfaces terrières des arbres moyens, une évolution comparable à celle représentée sur la figure 1, les éclaircies ultérieures devant intervenir au moment où les courbes d'accroissement de deux traitements se séparent.

Par la suite, pour un traitement donné *i*, nous noterons T-*i* la population totale avant éclaircie, T_{*i*} la population après la date d'éclaircie et T_{*i*,*j*} la sous-population de T_{*i*} associée à *j* (T_{2,300} correspond ainsi aux 300 plus beaux tiges par hectare de T₂).

Dispositif

Le dispositif est en blocs complets randomisés à 4 répétitions. Les unités expérimentales sont des parcelles carrées d'une surface de 0,5 ha (70,7 m × 70,7 m) avec une partie utile de 1 000 m² (31,6 m × 31,6 m). Les blocs sont établis pour que les différentes parcelles les constituant :

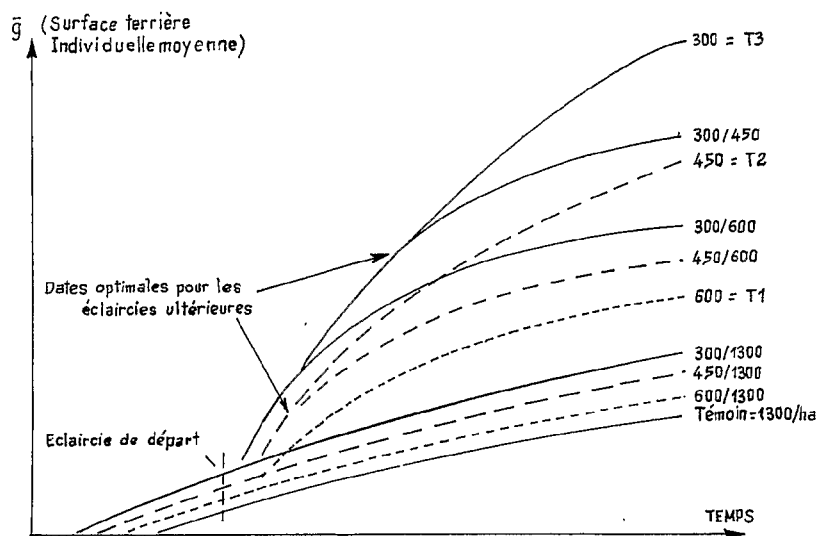


Figure 1. Hypothèse d'évolution, suivant les différents traitements, des surfaces terrières individuelles moyennes et conséquence sur les dates d'éclaircies ultérieures.

Probable evolution of average individual basal area according to the different treatments. Consequence for the date of future clearing operations.



TABLEAU I

CARACTÉRISTIQUES DES TRAITEMENTS DE L'ESSAI N° 77 EN 1987
SUR DES PINUS KESIYA ÂGÉS DE 14 ANS (valeurs moyennes sur les 4 blocs)

| Traitements | T ₀ Témoin | T ₁ 600 tiges/ha | T ₂ 450 tiges/ha | T ₃ 300 tiges/ha |
|--|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Hauteur dominante H ₀ avant éclaircie (m) | 20,78 | 20,77 | 21,73 | 21,19 |
| Densité initiale (tiges/ha) | 1 315 | 1 358 | 1 235 | 1 335 |
| Densité après éclaircie (tiges/ha) | 1 315 | 588 | 445 | 293 |
| Intensité éclaircie (%) | 0 | 57 | 64 | 78 |
| S % initial (%) | 13,4 | 13,4 | 13,3 | 13,0 |
| S % après éclaircie (%) | 13,4 | 19,9 | 21,8 | 27,6 |
| ΔS % (%) | 0 | 51,2 | 65,5 | 113,5 |
| Cg initial (cm) | 67,1 | 66,8 | 68,1 | 66,3 |
| Cg après éclaircie (cm) | 67,1 | 74,5 | 76,7 | 79,2 |
| G initiale (m ² /ha) | 46,88 | 47,05 | 44,94 | 46,26 |
| G après éclaircie (m ² /ha) | 46,88 | 25,91 | 20,78 | 14,71 |
| Poids de l'éclaircie (%) | 0 | 44,0 | 52,9 | 68,0 |
| V initial (m ³ /ha) | 430,51 | 430,71 | 413,43 | 423,7 |
| V après éclaircie (m ³ /ha) | 430,51 | 244,28 | 197,66 | 141,75 |
| Poids de l'éclaircie (%) | 0 | 42,5 | 51,5 | 66,5 |
| Type d'éclaircie (%) | 0 | 77,3 | 82,3 | 85,5 |

S % = coefficient d'espacement = $10\ 000/H_0 \sqrt{N}$; H₀ : hauteur dominante (m) et N densité (tiges/ha).

Cg : circonférence de l'arbre de surface terrière moyenne.

G : surface terrière à l'hectare.

V : volume total à l'hectare, au-dessus de 0,30 m.

Intensité d'éclaircie : nombre de tiges partant en éclaircie / nombre de tiges avant éclaircie.

Poids de l'éclaircie : pourcentage de la surface terrière (du volume) enlevé en éclaircie.

Type de l'éclaircie : volume de l'arbre moyen enlevé / volume de l'arbre moyen avant éclaircie.



- présentent des hauteurs dominantes les plus proches possibles,
- soient les plus rapprochées les unes des autres sur le terrain.

La hauteur dominante est la hauteur moyenne des 100 plus gros arbres à l'hectare, soit ici celle des 10 plus gros par parcelle utile.

Mensurations

Les mensurations des circonférences sont faites au centimètre recouvert et celles des hauteurs par grimpage, à l'aide d'une perche à laquelle est attachée une corde à nœuds espacés de 10 cm. Les mensurations ont été effectuées pour les circonférences en 1987, 1988, 1989, 1992 et 1993 et pour les hauteurs en 1987, 1988 et 1989.

SYLVICULTURE ET PRODUCTION

MÉTHODE STATISTIQUE

Afin de tenir compte des différences qui existaient initialement, bien que de façon toujours limitée, entre parcelles d'un même bloc (hauteur dominante...) on a procédé, pour chacun des paramètres étudiés, à une analyse de la covariance (DAGNELIE, 1973). On a pris comme variable principale $\Delta P_{i,j} = P_i - P_j$ (P_i , paramètre étudié, i et j années considérées) et comme covariable :

- pour les circonférences de l'arbre moyen, les valeurs initiales correspondant aux différents types de comparaisons effectuées

$$-T_{0,300}/T_{1,300}/T_{2,300}/T_{3,300}$$

$$-T_{0,450}/T_{1,450}/T_{2,450}$$

$$-T_{0,600}/T_{1,600}$$

- pour les surfaces terrières et les volumes totaux, les valeurs correspondantes des T_i ,

- pour les hauteurs dominantes, les valeurs correspondantes des T_i , qui très souvent sont celles des T_i .

Faire une analyse de variance classique sur les accroissements aurait conduit à poser *a priori* que toutes choses étant égales par ailleurs, l'état initial des parcelles n'influe pas sur la croissance future. Or on peut penser qu'une parcelle présentant, à nombre de tiges équivalent, une surface terrière et/ou un volume sur pied avant éclaircie supérieurs, se situe sur un sol plus fertile permettant une meilleure croissance ultérieure. De même l'hypothèse d'une meilleure croissance radiale des tiges de dimensions initiales supérieures est observée (THIVOLLE-CAZAT, 1986 ; BOUILLET et LEFEVRE, 1990). L'utilisation de l'analyse de la covariance a conduit, par rapport à l'analyse de la variance, à des gains de précision (DAGNELIE, 1973) inférieurs, la plupart du temps, à 15 % mais atteignant deux fois 35 % et une fois 90 %.

Un test de HARTLEY a montré que, pour chacune des variables étudiées, les variances des différentes populations pouvaient être considérées comme égales au seuil de 5 %.

Les comparaisons entre les traitements reposent sur l'utilisation de l'erreur-standard des moyennes ajustées (DAGNELIE, 1973), le seuil de signification statistique retenu étant 5 %.

CARACTÉRISTIQUES DES TRAITEMENTS

À LA MISE EN PLACE DE L'ESSAI

Celles-ci apparaissent au tableau I :

- Les valeurs de G et V sont très élevées, ce qui indique outre les très bonnes potentialités de ce type de peuplements que la concurrence entre les tiges est sans doute déjà très marquée. En effet, on considère que, sur de jeunes peuplements (7-10 ans), la concurrence est déjà sensible dès 20 m²/ha de surface terrière (BOUILLET, 1991).

- Les éclaircies pratiquées sont fortes à très fortes, enlevant de 57 % à 78 % des tiges et de 44 % à 68 % de la surface terrière initiale.

- L'éclaircie a été marquée par le bas, même pour T_3 . Ceci est lié au fait qu'un certain nombre de gros arbres de forme pourtant assez défectueuse ont été laissés : arbres en-

TABLEAU II

NOMBRE MOYEN DE TIGES D'AVENIR PAR HECTARE
à la mise en place des traitements

| Traitements | T_0 Témoin | T_1 600 tiges/ha | T_2 450 tiges/ha | T_3 300 tiges/ha | Moyenne pour les 4 traitements |
|-------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| | 175 | 213 | 158 | 185 | 183 |



tourés de tiges surcimées... ; si l'éclaircie avait été pratiquée assez tôt (6-7 ans), beaucoup de ces individus auraient pu être enlevés au profit d'autres de meilleure forme mais de vigueur légèrement moindre ; ces derniers, à 14 ans, sont dominés et de ce fait n'ont pratiquement aucune chance de réagir fortement à l'éclaircie (THIVOLLE-CAZAT, 1986 ; BOUILLET et LEFEVRE, 1990).

Il en résulte que, dans ces peuplements assez âgés, les tiges d'avenir, présentant à la fois bonne conformation et vigueur, sont en nombre limité (cf. tableau II, p. 11) ; le fait que moins de 200 tiges/ha soient véritablement belles sera à prendre en compte pour le traitement à préconiser à la suite de cet essai.

RÉSULTATS OBTENUS

Remarque préliminaire : les accroissements en circonférence (ΔC_g), en surface terrière (ΔG) et en volume (ΔV) ne sont pas indépendants. Cependant, des raisons pratiques nous ont conduit à les présenter par la suite séparément : étude de ΔC_g en fonction des catégories de tiges et de traitements, étude de ΔG sur 5 périodes, étude de ΔV sur 3 périodes...

Chablis - Stabilité des peuplements

Le tableau III montre qu'il est possible d'éclaircir très fortement des peuplements âgés sans qu'ils soient fragilisés. Ce résultat est remarquable puisqu'au moment de l'abatage les facteurs d'élanement [Hauteur dominante/Diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne] étaient compris entre 95 et 101, valeurs qui en Europe caractérisent des peuplements résineux déjà très instables (DE CHAMPS *et al.*, 1982 ; OSWALD, 1984 ; PARDE et BOUCHON, 1988).

L'explication vient sans doute du fait que les seuls vents violents habituellement constatés dans la région du

Mangoro sont dus aux orages de courte durée et très localisés. Ceux-ci peuvent éventuellement occasionner des chablis mais alors sur de très petites surfaces (quelques ares). Cependant ces résultats ne veulent pas dire que les éclaircies pratiquées

n'ont aucun impact sur l'équilibre des tiges (cf. p. 14).

Croissance en hauteur

Au bout de deux années, il n'apparaît pas de différence significative d'accroissement en hauteur domi-

TABLEAU III
POURCENTAGE MOYEN DE CHABLIS SUIVANT LES TRAITEMENTS
6 ans après la mise en place de l'essai

| Traitements | T ₀ Témoin | T ₁ 600 tiges/ha | T ₂ 450 tiges/ha | T ₃ 300 tiges/ha |
|-------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | 4,2 | 0 | 0,6 | 0,8 |

TABLEAU IV
ACCROISSEMENT MOYEN EN HAUTEUR DOMINANTE (ΔH_0)
des différents traitements pour la période 1987-1989

| Traitements | T ₂ | T ₃ | T ₁ | T ₀ |
|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| ΔH_0 (m) 1987-1989 | 2,27 | 2,52 | 2,63 | 2,75 |

seuil 5 %

TABLEAU V
ACCROISSEMENT MOYEN EN CIRCONFÉRENCE DE L'ARBRE
DE SURFACE TERRIÈRE MOYENNE
Valeur suivant les catégories de tiges et les traitements
6 ans après la mise en place de l'essai (en cm)

| Tiges comparées | 300 + belles tiges/ha | 450 + belles tiges/ha | 600 + belles tiges/ha | Toutes les tiges de T ₀ |
|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--|
| T ₃ 300 tiges/ha | 26,24 | — | — | — |
| T ₂ 450 tiges/ha | 20,31 | 19,37 | — | — |
| T ₁ 600 tiges/ha | 15,47 | 14,92 | 14,53 | — |
| T ₀ Témoin | 7,81 | 7,55 | 7,07 | 6,75 |

| : signification au seuil de 5 %.

nante entre les traitements (cf. tableau IV) mais il existe une tendance à une meilleure croissance pour le témoin par rapport aux traitements fortement éclaircis. Les mesures en hauteur n'ayant pu être poursuivies par la suite, il n'est pas possible d'affirmer que les différences sont devenues significatives au bout de six ans. Cependant, la mesure des hauteurs après l'abattage des parcelles T_0 et T_3 du bloc 4 confirme la tendance observée : la différence après 6 ans sur l'accroissement en hauteur dominante est de 0,80m en faveur du témoin.

Dans le cas de *Pinus kesiya*, la croissance en hauteur dominante ne semble pas indépendante de la densité, les peuplements éclaircis présentant une hauteur plus faible comme le confirment d'autres observations faites sur la même espèce sur le massif (RAKOTONDRAINIBE, 1994) ou aux Philippines (PENAFIEL, 1973).

Croissance en circonférence

□ Résultats après 6 ans

Tous les traitements diffèrent significativement entre eux quelle que soit la catégorie d'individus en comparaison (cf. tableau V).

La réaction des tiges est d'autant plus forte que l'intensité d'éclaircie a été marquée.

• 300 plus belles tiges/ha :

l'accroissement de $T_{3,300}$ est supérieur de 29 % à celui de $T_{2,300}$, de 70 % à celui de $T_{1,300}$ et de 240 % à celui de $T_{0,300}$;

• 450 plus belles tiges/ha :

l'accroissement de $T_{2,450}$ est supérieur de 30 % à celui de $T_{1,450}$ et de 157 % à celui de $T_{0,450}$;

• 600 plus belles tiges/ha :

l'accroissement de $T_{1,600}$ est supérieur de 106 % à celui de $T_{0,600}$.

□ Evolution du gain d'accroissement avec l'intensité d'éclaircie

Accroissements absolus

Les figures 2 à 4 montrent que :

- dès la première année, tous les traitements diffèrent significativement entre eux pour les différentes catégories d'individus, sauf pour $T_{2,300}$ et $T_{3,300}$;
- durant la deuxième année, les différences d'accroissement entre $T_{2,300}$ et $T_{3,300}$ deviennent, elles aussi, significatives ;

- les résultats sont comparables pour les périodes 1989-1992 et 1992-1993.

Même à des densités peu élevées (450 tiges/ha), il existe donc une concurrence, *a priori* souterraine, entre individus, confirmant ainsi que la surface terrière après éclaircie doit être nettement inférieure à 20 m²/ha pour obtenir un accroissement maximal en circonférence. L'évolution des circonférences C_g ou des surfaces terrières de l'arbre moyen qui était attendue (cf. p. 9) ne peut donc être observée.

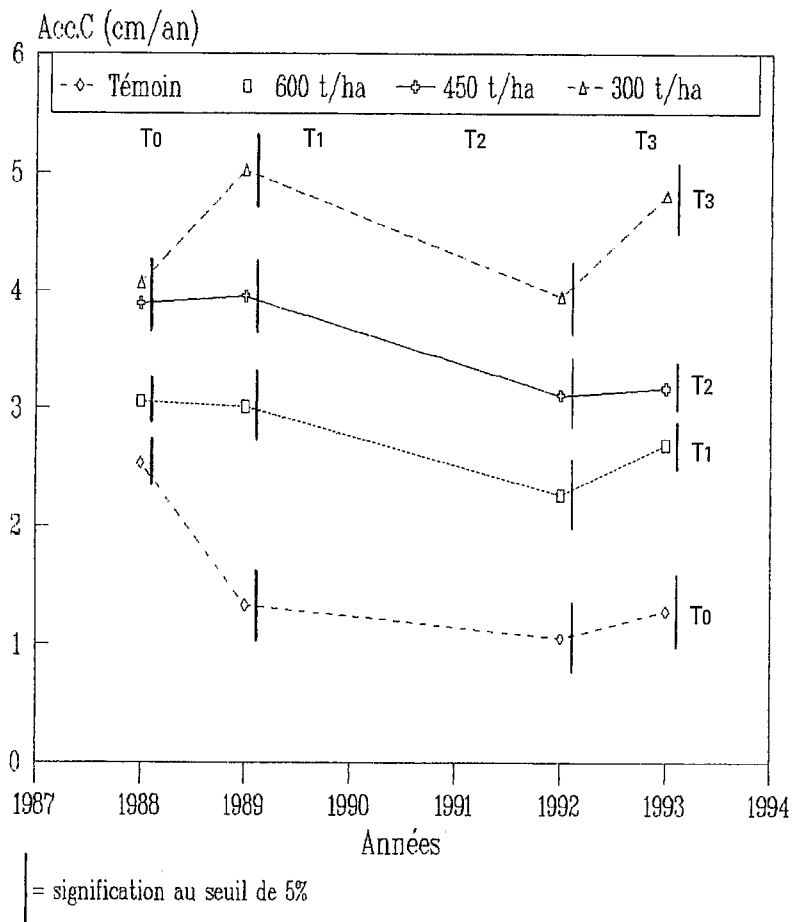


Figure 2. Accroissement annuel en circonférence (Acc.C) des 300 plus belles tiges à l'hectare des traitements T_0 (témoin), T_1 (600 t/ha), T_2 (450 t/ha) et T_3 (300 t/ha). Girth annual increment (Acc.C) of the 300 best stems per hectare of control (T_0), T_1 (600 t/ha), T_2 (450 t/ha) and T_3 (300 t/ha).

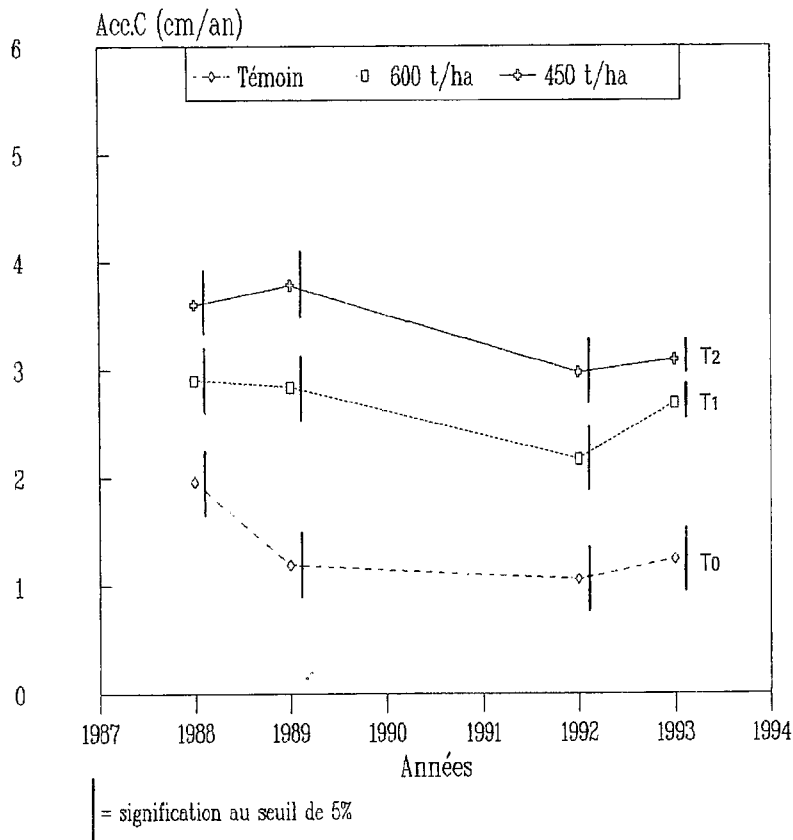


Figure 3. Accroissement annuel en circonférence (Acc.C) des 450 plus belles tiges à l'hectare des traitements T₀ (témoin), T₁ (600 t/ha) et T₂ (450 t/ha).
Girth annual increment (Acc.C) of the 450 best stems per hectare of control (T₀), T₁ (600 t/ha) and T₂ (450 t/ha).

Accroissements relatifs

Les taux d'accroissements, calculés par rapport aux accroissements du témoin, montrent que le plus fort dynamisme de croissance induit par l'éclaircie à 300 tiges/ha se maintient et a même tendance à s'amplifier 6 ans après l'intervention (cf. fig. 5, p. 16).

Tiges ayant arrêté leur croissance radiale

A l'inverse des traitements éclaircis, le témoin se caractérise par la présence de nombreuses tiges dominées qui, bien que vivantes, ont pratiquement arrêté leur croissance radiale à 1,30 m : 440 tiges/ha en moyenne, soit 35 % du peuplement

ont ainsi un accroissement d'au plus 3 cm entre 1987 et 1993 (20 tiges/ha pour T₁ et aucune pour T₂ et T₃). Ce type d'observation est fait aussi sur le CCT plots d'Ambodimandresy sur *Pinus kesiya* (RAKOTONDRAINIBE, 1994) ; il est à rapprocher de la notion de valeur-seuil en dessous de laquelle *Fagus sylvatica* arrête, en France, sa croissance radiale (DHOTE, 1990).

Conclusion partielle

Pour favoriser au maximum la croissance radiale, il est nécessaire de procéder à des éclaircies de très forte intensité comme T₃ enlevant plus de 3 tiges sur 4 et laissant seulement 300 tiges/ha.

Croissance en surface terrière et en volume

Tarifs de cubage

Des tarifs de cubage pour les volumes totaux (jusqu'à la découpe 0) ont été établis à la mise en place de l'essai et en 1993. Vu l'impact marqué sur la forme en long des tiges (cf. p. 15) on a considéré que seules les productions des périodes 1987-1988, 1992-1993 et 1987-1993 pouvaient valablement être estimées.

Tarifs 1987

L'échantillon de 232 arbres, prélevés d'une manière systématique dans les bordures des traitements éclaircis, correspond à :

- 154 arbres qui seraient enlevés par une éclaircie à 450 tiges/ha,
- 78 individus restant après intervention.

La comparaison des différents tarifs obtenus par régression pondérée (CAILLIEZ et BLANC, 1979) a montré la possibilité d'utiliser un tarif global valable pour les peuplements avant et après éclaircie :

$$V = 0,0412 \cdot 0,9483 \cdot D + 10,6403 \cdot D^2$$

(0,09 m ≤ D ≤ 0,31 m)

avec V, volume total (en m³) au-dessus de la souche (0,30 m) et D, diamètre sur écorce à 1,30 m (en m).

Tarifs 1993

Il a été procédé à l'abattage des traitements-témoins (124 tiges), T₂ (44 tiges) et T₃ (30 tiges) du bloc 4. Des contingences matérielles ont empêché de cuber la parcelle T₁.

Pour estimer les volumes produits par les différents traitements nous avons appliqué :

- le tarif-témoin (respectivement T₃) aux parcelles-témoins (resp. T₃) des trois autres blocs,

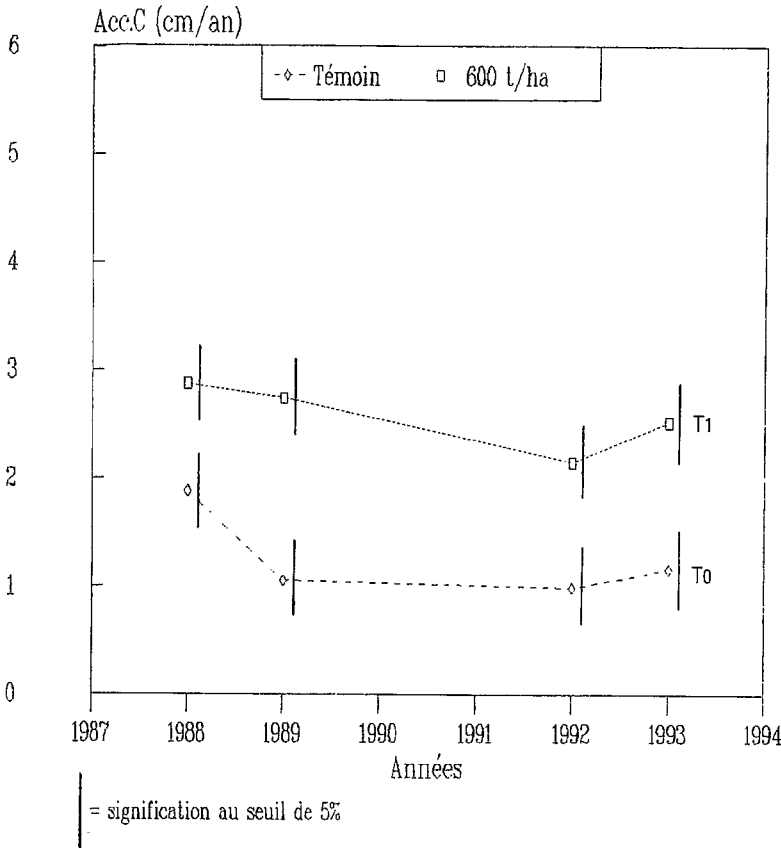


Figure 4. Accroissement annuel en circonférence (Acc.C) des 600 plus belles tiges à l'hectare des traitements T₀ (témoin) et T₁ (600 t/ha).
Girth annual increment (Acc.C) of the 600 best stems per hectare of control (T₀) and T₁ (600 t/ha).

- le tarif de T₂ à l'ensemble des parcelles T₁ et T₂.

Les tarifs obtenus sont :

Témoin : $V = 0,0632 - 1,6446 * D + 14,4695 * D^2$
(0,11 m ≤ D ≤ 0,41 m)

T₂ : $V = 0,4498 - 3,5415 * D + 15,7689 * D^2$
(0,22 m ≤ D ≤ 0,42 m)

T₃ : $V = 0,1271 + 7,7245 * D^2$
(0,27 m ≤ D ≤ 0,41 m)

avec V, volume total (en m³) au-dessus de la souche (0,30 m) et D, diamètre sur écorce à 1,30 m (en m).

□ Résultats

Production après 6 ans

Croissance en surface terrière : le tableau VI, p. 17, montre que :

- l'éclaircie à 450 tiges/ha induit une production significativement supérieure à celle des autres traitements,
- T₁ et T₃ ne sont pas significativement différents,
- le témoin est le traitement qui est significativement le moins productif (-1,77 m²/ha, soit -16,4 % par rapport à la moyenne de T₁ et T₃ ; -2,62 m²/ha, soit -22,6 % par rapport à T₂).

port à la moyenne de T₁ et T₃ ; -2,62 m²/ha, soit -22,6 % par rapport à T₂).

Croissance en volume : des différences notables apparaissent avec les résultats précédents (cf. tableau VII, p. 17) :

- le témoin présente la production significativement la plus élevée,
- T₁ et T₂ ne sont pas significativement différents,
- T₃ est le traitement significativement le moins productif (-28,6 m³/ha, soit -16,4 % par rapport à la moyenne de T₁ et T₂ ; -43,3 m³/ha, soit -22,8 % par rapport au témoin).

Cette non correspondance s'explique par :

- Un accroissement plus important en hauteur des arbres-témoins (cf. p. 13).
- Un défilement moyen plus important des arbres éclaircis, en particulier sur la bille de pied (comparaison témoin/T₂ sur la partie 0,30 m → 12,30 m ; BOUILLET, 1994).

Evolution de la production

Les principaux résultats sont les suivants (cf. tableaux VI et VII, p. 17) :

- La première année, le témoin présente la production significativement la plus forte en surface terrière et en volume, ce qui peut s'expliquer par :
 - le temps nécessaire aux arbres éclaircis pour constituer leur nouveau houppier et adapter leur système racinaire aux nouvelles ressources disponibles (eau...),
 - le traumatisme qu'a dû subir un certain nombre de tiges lors de l'abattage (troncs froités, systèmes racinaires soulevés,...), le risque étant d'autant plus grand que l'intensité d'éclaircie est forte. Ce dernier point, ajouté au très fort prélèvement de matériel végétal, est une

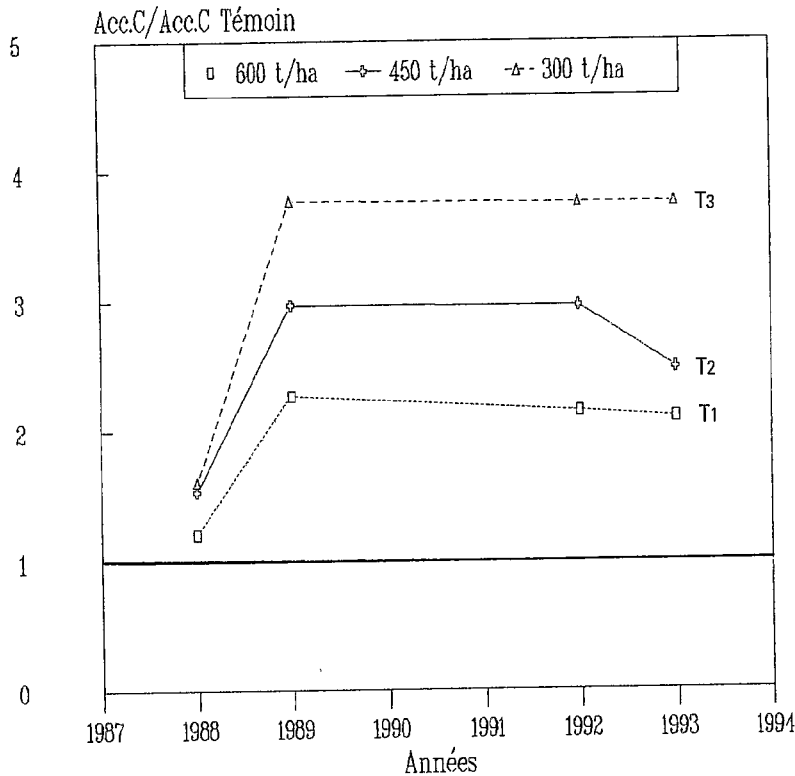


Figure 5. Accroissement relatif annuel en circonférence par rapport à T_0 (Acc.C./Acc.C. témoin) des 300 plus belles tiges à l'hectare des traitements T_1 (600 t/ha), T_2 (450 t/ha) et T_3 (300 t/ha).
Relative girth annual increment versus T_0 (Acc.C./Acc.C. control) of the 300 best stems per hectare of T_1 (600 t/ha), T_2 (450 t/ha) and T_3 (300 t/ha).

explication de la production, significativement la plus faible, de T_3 .

- La dernière année, la production en surface terrière et en volume du témoin est significativement la moins élevée. Même si, par prudence, on ne peut conclure que ce traitement sera effectivement moins productif par la suite, il semble apparaître que la perte de production liée aux éclaircies ne s'observe au plus que durant les 5 premières années.
- La dernière année, T_1 et T_2 présentent une production en volume significativement supérieure à T_3 (+ 12 % en moyenne) ; l'explication est sans doute que, du fait de la qualité génétique médiocre des peuplements,

une éclaircie comme T_3 laisse par endroit de larges trouées dans le peuplement qui, 6 ans après l'intervention, sont encore très étendues.

On ne peut exclure que le témoin sera effectivement par la suite le traitement le moins productif, ce phénomène pouvant être lié, au moins en partie, à la présence des tiges qui ont arrêté leur croissance radiale (cf. p. 14) : ces tiges ne participent pratiquement plus à la croissance en volume mais elles concurrencent quand même, pour assurer leur survie, les autres individus. Le peuplement ne bénéficie donc pas véritablement d'une auto-éclaircie induisant un accroissement plus im-

portant des autres tiges et la surface productive est de ce fait moins étendue.

En résumé, on peut retenir trois points concernant la production :

- La perte de production par rapport au témoin, induite par les éclaircies, reste limitée (de 12 à 43 m³/ha) et ne devrait plus s'accroître.
- Une éclaircie faible laissant 600 tiges/ha après intervention ne présente pas l'intérêt d'une plus forte production par rapport à une éclaircie à 450 tiges/ha.
- L'éclaircie à 300 tiges/ha se caractérise par la production la plus faible en volume.

DISCUSSION

Comment expliquer la réaction de *Pinus kesiya* à l'éclaircie

La réaction très forte et très rapide de *Pinus kesiya* à l'éclaircie est à mettre en parallèle avec le développement des houppiers.

Notion de houppier utile

Diverses études antérieures (BOUILLET et LEFÈVRE, 1992 ; BOUILLET, 1993) ont montré que pour *Pinus kesiya*, dans la région du Mangoro, ce sont essentiellement les tout premiers verticilles supérieurs du houppier vert qui permettent la croissance de l'arbre. À l'intérieur de ce « houppier utile », les branches présentent des cernes de croissance dont la largeur diminue très fortement et brusquement à la fin de leur période de croissance active (une branche verte de 10 ans peut ainsi ne présenter que 4 années utiles, BOUILLET, 1993).

Impact des éclaircies sur la longueur du houppier utile

L'impact des éclaircies sur la croissance individuelle des tiges se traduit par :

- Une augmentation systématique du nombre d'années où les



TABLEAU VI

ACCROISSEMENT MOYEN ANNUEL EN SURFACE TERRIÈRE (ΔG)
des différents traitements pour les périodes 1987-1988, 1988-1989, 1989-1992, 1992-1993 et 1987-1993
(calculs sur l'ensemble des tiges)

| | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-----------|
| Traitements | T_3 | T_2 | T_1 | T_0 | |
| ΔG (en $m^2/ha/an$) 1987-1988 | 1,53 | 1,98 | 1,99 | 2,18 | seuil 5 % |
| Traitements | T_0 | T_1 | T_3 | T_2 | |
| ΔG (en $m^2/ha/an$) 1988-1989 | 1,43 | 1,93 | 2,02 | 2,16 | seuil 5 % |
| Traitements | T_0 | T_1 | T_3 | T_2 | |
| ΔG (en $m^2/ha/an$) 1989-1992 | 1,23 | 1,64 | 1,67 | 1,83 | seuil 5 % |
| Traitements | T_0 | T_1 | T_2 | T_3 | |
| ΔG (en $m^2/ha/an$) 1992-1993 | 1,70 | 1,96 | 1,98 | 2,17 | seuil 5 % |
| Traitements | T_0 | T_3 | T_1 | T_2 | |
| ΔG (en m^2/ha) 1987-1993 | 9,00 | 10,75 | 10,79 | 11,62 | seuil 5 % |

TABLEAU VII

ACCROISSEMENT MOYEN EN VOLUME TOTAL AU-DESSUS DE 0,30 M (ΔV)
DES DIFFÉRENTS TRAITEMENTS
pour les périodes 1987-1988, 1992-1993 et 1987-1993

| | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|-----------|
| Traitements | T_3 | T_2 | T_1 | T_0 | |
| ΔV (en $m^3/ha/an$) 1987-1988 | 17,22 | 22,03 | 22,29 | 23,93 | seuil 5 % |
| Traitements | T_0 | T_3 | T_1 | T_2 | |
| ΔV (en $m^3/ha/an$) 1992-1993 | 20,02 | 21,60 | 23,91 | 25,17 | seuil 5 % |
| Traitements | T_3 | T_2 | T_1 | T_0 | |
| ΔV (en m^3/ha) 1987-1993 | 146,33 | 172,63 | 177,14 | 189,61 | seuil 5 % |





branches vertes sont utiles comme le mettent en évidence des analyses de cernes de branches conduites sur 31 (respectivement 27) individus dominants/codominants témoins (resp. à 300 tiges/ha) du bloc 3 :

- pour les témoins, le nombre de cernes larges est de 3 à 5, correspondant à une longueur de houppier utile, calculée à partir du bourgeon terminal, comprise entre 2,5 et 4 m ;
- pour les arbres éclaircis, le nombre de cernes larges est de 6 à 9 et la longueur de houppier utile comprise entre 6 et 8 m ;
- une reprise de croissance de branches très fortement mises en lumière (notée sur 4 des 27 arbres éclaircis).

Impact des éclaircies sur le développement latéral du houppier utile

L'augmentation d'années de croissance utiles va se traduire par un développement latéral plus important du houppier : durant ces années supplémentaires, les branches des arbres éclaircis vont continuer à émettre des unités de croissance (BOUILLET et LEFEVRE, 1992) permettant ainsi une meilleure occupation de l'espace aérien.

Impact des éclaircies sur la croissance utile

Les éclaircies permettent de partager les ressources du sol (eau, nutriments) entre un nombre plus faible de tiges. Même si des mesures précises n'ont pas été faites, on peut aussi penser que les éclaircies favorisent une meilleure minéralisation de la litière qui se caractérise au Mangoro, pour les peuplements non éclaircis, par une dizaine de centimètres d'aiguilles non décomposées. Toutes choses étant égales par ailleurs, les arbres éclaircis bénéficient non seulement de plus d'années utiles de croissance par verticille mais aussi, selon toute

vraisemblance, d'une meilleure croissance pour une année utile donnée comme tend à le montrer la plus grande largeur des cernes utiles des branches des arbres éclaircis.

Remarque : les observations seraient sans doute sensiblement différentes avec une espèce au caractère héliophile moins affirmé ; la réaction à l'éclaircie pourrait alors s'expliquer principalement par une occupation progressive de l'espace aérien, les productions ne devenant comparables à celles du témoin qu'à partir du moment où le couvert est à peu près refermé.

Impact des éclaircies sur la forme en long des arbres

Il est très important de souligner que la différence de forme en long ne peut être imputée à la présence de branches basses vivantes chez les arbres des peuplements éclaircis, branches qui auraient permis à leur niveau un fonctionnement plus marqué du cambium puisque :

- en 1987, toutes les branches étaient mortes jusqu'à 10 m au moins de hauteur,
- en 1993, la base des houppiers efficaces se situe aux environs de 20 m de hauteur.

L'explication est à chercher, au moins en partie, dans la très forte ouverture du couvert de peuple-

ments totalement fermés dont les tiges ont des facteurs d'élanement élevés (cf. p. 12). Pour lutter contre le vent qui les déséquilibre, les arbres ont alors tendance, toutes choses étant égales par ailleurs, à croître plus dans les parties basses du tronc (cf. tableau VIII). Le fait que l'empâtement soit plus marqué pour les tiges du peuplement le plus ouvert (T3) tend à valider l'hypothèse avancée.

L'impact du vent sur la croissance radiale des tiges a aussi été mis en évidence par JACOBS (1939, 1954) sur *Pinus radiata*, par LARSON (1965) sur *Larix laricina* ou VALINGER (1992) sur *Pinus sylvestris*. Plus généralement, la théorie d'une influence prépondérante du vent sur le profil en long des tiges, avancée à l'origine par METZGER (1893, 1894, 1895, cité par LARSON, 1963), sert de référence aux travaux de nombreux auteurs cités par LARSON (1963) ou entrepris plus récemment (WEST *et al.*, 1989 ; DEAN et LONG, 1986, cités par WEST *et al.*, 1989).

Remarques : DUFF et NOLAN (1953), FORWARD et NOLAN (1961) observent aussi sur *Pinus resinosa* que les éclaircies entraînent un accroissement momentané du défilement sous le houppier.

La différence dans les formes en long pourrait aussi tenir à l'alimentation hydrique différente des tiges-

| | 0,30 m | 1,30 m | 8,30 m | 12,30 m |
|-------------------------------|--------|--------|--------|---------|
| T ₀ : témoin | + 24,4 | + 16,7 | + 7,5 | + 20,2 |
| T ₂ : 450 tiges/ha | + 29,8 | + 18,3 | - 2,7 | - 4,5 |
| T ₃ : 300 tiges/ha | + 44,2 | + 25,3 | - 8,6 | - 14,9 |



témoins et éclaircies : le stress hydrique ralentirait chez les témoins la diffusion des assimilats et le fonctionnement de l'assise cambiale dans la partie basse des tiges, le phénomène inverse s'observant chez les individus éclaircis bénéficiant d'une bonne alimentation en eau (DELEUZE, 1994, comm.pers.). Une telle explication est cependant rejetée par TELEWSKI et JAFFE (1981).

TECHNOLOGIE

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Echantillon

L'étude porte sur six arbres droits, verticaux et ne présentant pas de défauts extérieurs :

- trois provenant de la parcelle-témoin du bloc 4,
- trois provenant de la parcelle T₃ (300 tiges/ha) du même bloc.

Ces arbres, dominants à codominants, représentent trois types de croissance après 1987 : inférieure (Inf.), semblable (Moy.) ou supérieure (Sup.) à l'accroissement moyen en circonférence à 1,30 m des 300 plus belles tiges/ha des parcelles considérées (cf. tableau IX).

Niveaux prélevés

Des rondelles de 50 mm d'épaisseur ont été prises à 0,30 m, 1,30 m, 4,30 m, 8,30 m et 12,30 m dans le but d'avoir des informations sur la variation intrarbre des propriétés du bois dans le sens longitudinal de l'arbre.

Zone analysée

Sur chaque rondelle on a prélevé quatre barrettes, opposées deux à deux, suivant deux directions perpendiculaires passant par la moelle. Afin de ne travailler que sur du bois mature, on a comparé le bois formé après éclaircie et :

- Le bois formé entre 9 et 14 ans pour les niveaux 0,30 m, 1,30 m et 4,30 m ; dans cette partie de la tige on peut retenir que le noyau de bois juvénile est formé durant les 9 premières années de la vie de l'arbre (RAKOTOVAO, 1988).
- Le bois formé avant 1987, exception faite des 3 premiers cernes formés de bois considéré comme juvénile, pour les niveaux à 8,30 m et 12,30 m (RAKOTOVAO, 1988). En pratique, ces éprouvettes contenaient 3 à 5 cernes.

Variables

Ont été mesurées ou déterminées :

□ **La largeur moyenne des cernes** (accroissement annuel moyen sur le rayon) pour les deux zones de chaque niveau. Cette mesure a été faite sur tous les individus exception faite de l'arbre « Inf. » du témoin.

□ **La densité basale** définie par le rapport (Poids anhydre/Volume saturé) et qui, après transformation (ZOBEL *et al.*, 1960), donne la formule ($Di = 1 / [(Ps - Po) - 0,347]$) appelée alors *infradensité* (exprimée en kg/m³). Cette dernière formulation a été préférée car il est plus facile d'obtenir avec précision le poids saturé (Ps) que le volume saturé. L'étude de la densité est intéressante car celle-ci est souvent bien corrélée à la résistance mécanique du bois (LEBAN *et al.*, 1991).

□ **Les rétractibilités tangentielle (RT) et radiale (RR)**, qui permettent d'appréhender la facilité de mise en œuvre du matériau (déformation au séchage, stabilité des produits finis...). Ces grandeurs rendent compte de la diminution relative, dans les directions tangentielle et radiale, des dimensions du matériau entre l'état saturé et anhydre.

TABLEAU IX

CIRCONFÉRENCE EN 1987 DE L'ARBRE DE SURFACE TERRIÈRE MOYENNE* ET ACCROISSEMENT CORRESPONDANT ENTRE 1987 ET 1993 DES 300 PLUS BELLES TIGES/HA ET DES ARBRES-ÉCHANTILLONS**
Valeurs pour les traitements-témoins et T₃ du bloc 4 entre 1987 et 1993 (mesures à 1,30 m sur écorce)

| Traitements | 300 plus belles tiges/ha | | Arbre inf. | | Arbre Moy. | | Arbre Sup. | |
|----------------|--------------------------|------|------------|-----|------------|-----|------------|-----|
| | Cg | ΔCg | Cg | ΔCg | Cg | ΔCg | Cg | ΔCg |
| Témoin | 84,8 | 10,2 | 64 | 7 | 85 | 11 | 92 | 14 |
| T ₃ | 76,3 | 27,8 | 66 | 25 | 84 | 27 | 89 | 29 |

Inf. : accroissement en circonférence à 1,30 m inférieur à celui de la moyenne des 300 plus belles tiges/ha.

Moy. : accroissement en circonférence comparable à celui de la moyenne des 300 plus belles tiges/ha.

Sup. : accroissement supérieur en circonférence comparable à celui de la moyenne des 300 plus belles tiges/ha.

* Cg.

** ΔCg.



Les éprouvettes employées ont les dimensions suivantes :

- 7 × 7 mm de section et de longueur correspondante à la zone analysée pour la détermination de Di,
- 40 × 40 × 40 mm pour les déterminations de RT et RR.

Observations supplémentaires

Des pièces avivées, de 27 mm et 42 mm d'épaisseur, ont été tirées des billes (entre 1,30 m et 4,30 m) et surbilles (entre 4,30 m et 8,30 m) de 10 arbres dominants/codominiants supplémentaires (5 pour T₀ et 5 pour T₃), tous de droit fil. Le comportement de ces sciages séchés individuellement à l'air libre a été examiné périodiquement (toutes les 48 heures) pendant une période de 45 jours.

RÉSULTATS

Le nombre très restreint d'arbres étu-

diés rend illusoire l'emploi d'outils statistiques et ceci d'autant plus que, pour une catégorie donnée d'individus (Inf., Moy., Sup.), les caractéristiques des bois avant la date d'éclaircie ne sont pas toujours comparables (cf. tableaux X et XI). Notre démarche est seulement de voir s'il est possible de dégager des tendances fortes (baisse de la densité du bois après éclaircie...).

Largeur de cernes

Les accroissements radiaux des arbres des parcelles éclaircies sont environ le double de ceux des arbres des parcelles-témoins (2,5-3,5 mm/5,5-7,5 mm), cf. tableau X.

Entre 0,30 m et 4,30 m les arbres éclaircis présentent une forte discontinuité d'accroissement. Celle-ci est nettement moins marquée aux niveaux supérieurs pour lesquels la date d'éclaircie correspond à un âge cambial de 6-8 ans où est noté l'accroissement radial maximal

(BOUILLET, 1993) ; on observe même à 12,30 m une légère diminution de la largeur moyenne des cernes.

Infradensité :

□ Evolution avec l'âge de l'arbre

Pour les deux traitements l'infradensité tend à augmenter avec l'âge des individus (cf. tableau XI). Traitements et niveaux confondus, l'infradensité moyenne passe ainsi de 552 kg/m³ avant 1987 à 588 kg/m³ après cette date.

□ Evolution avec l'âge cambial

Pour une période donnée (avant ou après la date d'éclaircie), l'infradensité tend à diminuer du bas vers le haut de la tige (cf. tableau XI). Ce résultat est cohérent avec les observations faites par RAKOTOVAO (1988) qui met en évidence, dans le bois mature, une tendance à l'augmentation de l'infradensité avec l'âge cambial.

| Traitements | Arbres Niveaux | Inf. | | Moy. | | Sup. | |
|----------------|-------------------|------|-----|------|-----|------|-----|
| | | AVE | APE | AVE | APE | AVE | APE |
| Témoin | 0,30 m | - | - | 3,6 | 3,0 | 3,8 | 3,0 |
| | 1,30 m | - | - | 3,3 | 2,7 | 3,5 | 2,9 |
| | 4,30 m | - | - | 3,5 | 2,6 | 4,0 | 2,9 |
| | 8,30 m | - | - | 4,7 | 2,6 | 5,5 | 3,4 |
| | 12,30 m | - | - | 5,9 | 3,0 | 6,8 | 3,3 |
| T ₃ | 0,30 m | 3,2 | 6,6 | 3,4 | 6,6 | 3,3 | 7,6 |
| | 1,30 m | 3,0 | 6,2 | 3,1 | 6,5 | 3,1 | 6,6 |
| | 4,30 m | 3,6 | 5,0 | 3,8 | 5,6 | 3,6 | 6,5 |
| | 8,30 m | 4,2 | 5,2 | 4,9 | 5,4 | 5,3 | 5,4 |
| | 12,30 m | 5,9 | 5,7 | 6,3 | 5,5 | 6,5 | 5,6 |

Inf. : accroissement en circonférence à 1,30 m inférieur à celui de la moyenne des 300 plus belles tiges/ha.

Moy. : accroissement en circonférence comparable à celui de la moyenne des 300 plus belles tiges/ha.

Sup. : accroissement supérieur en circonférence à celui de la moyenne des 300 plus belles tiges/ha.

AVE : avant la date d'éclaircie.

APE : après la date d'éclaircie.



TABLEAU XI

INFRADENSITÉ ET RÉTRACTIBILITÉS TANGENTIELLE ET RADIALE DES ARBRES-TÉMOINS ET ÉCLAIRCIS À 300 TIGES/HA (T₃)
Valeurs suivant les niveaux et les zones (moyennes obtenues sur quatre éprouvettes par zone)

| Arbre | Inf. | | | Moy. | | | Sup. | | | | | | | | | | | |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|
| | AVE | Di | RT | AVE | Di | RT | AVE | Di | RT | | | | | | | | | |
| Zone | APE | | | APE | | | APE | | | | | | | | | | | |
| Paramètres | Di | RT | RR | Di | RT | RR | Di | RT | RR | | | | | | | | | |
| 0,30 m | 578 | 6,86 | 3,48 | 602 | 8,58 | 5,31 | 520 | 6,80 | 3,15 | 616 | 8,78 | 5,71 | 496 | 7,23 | 3,84 | 570 | 8,13 | 5,14 |
| 1,30 m | 580 | 6,51 | 3,46 | 551 | 8,55 | 3,46 | 542 | 7,66 | 3,14 | 569 | 8,82 | 5,16 | 476 | 7,42 | 3,50 | 549 | 7,97 | 4,91 |
| 4,30 m | 547 | 5,88 | 2,97 | 563 | 7,66 | 4,83 | 511 | 7,40 | 3,03 | 567 | 8,47 | 4,85 | 467 | 6,90 | 3,19 | 543 | 7,99 | 4,37 |
| 8,30 m | 551 | 6,00 | 3,64 | 536 | 7,66 | 5,04 | 502 | 6,52 | 2,73 | 548 | 8,62 | 5,02 | 497 | 6,88 | 3,51 | 505 | 7,37 | 3,72 |
| 12,30 m | 538 | 6,32 | 3,24 | 543 | 7,06 | 3,67 | 490 | 6,56 | 2,78 | 489 | 8,11 | 4,66 | 489 | 6,42 | 3,24 | 495 | 6,85 | 3,67 |
| Moyenne | 559 | 6,31 | 3,36 | 559 | 7,90 | 4,46 | 513 | 6,99 | 2,97 | 558 | 8,56 | 5,08 | 449 | 6,97 | 3,46 | 532 | 7,66 | 4,36 |
| T ₃ | 568 | 5,95 | 3,15 | 618 | 6,75 | 4,01 | 587 | 6,67 | 3,35 | 567 | 6,93 | 3,42 | 647 | 6,70 | 3,74 | 774 | 7,02 | 4,50 |
| 1,30 m | 566 | 6,30 | 3,19 | 668 | 7,32 | 4,59 | 596 | 6,98 | 3,35 | 585 | 7,01 | 3,42 | 641 | 7,26 | 3,73 | 757 | 7,19 | 4,35 |
| 4,30 m | 580 | 6,14 | 3,19 | 594 | 7,00 | 4,17 | 558 | 6,73 | 2,89 | 573 | 6,72 | 2,95 | 635 | 6,81 | 3,47 | 712 | 7,21 | 5,06 |
| 8,30 m | 525 | 6,50 | 3,07 | 553 | 6,89 | 3,74 | 549 | 6,48 | 3,11 | 553 | 6,70 | 3,33 | 629 | 6,50 | 3,40 | 693 | 7,26 | 4,71 |
| 12,30 m | 513 | 5,57 | 2,54 | 512 | 6,70 | 3,73 | 530 | 6,35 | 3,26 | 528 | 6,87 | 3,05 | 654 | 6,33 | 3,77 | 698 | 6,66 | 4,15 |
| Moyenne | 550 | 6,09 | 3,03 | 589 | 6,93 | 4,05 | 564 | 6,64 | 3,19 | 561 | 6,85 | 3,23 | 641 | 6,72 | 3,62 | 727 | 7,07 | 4,55 |

AVE : avant la date d'éclaircie. APE : après la date d'éclaircie. Infradensité Di en kg/m³. Rétractibilité tangentielle : RT en %. Rétractibilité radiale : RR en %.





□ **Evolution avec l'éclaircie**

L'augmentation de l'infradensité après 1987 est un peu plus marquée sur les arbres éclaircis pour les niveaux 1,30 m, 8,30 m et 12,30 m et en valeur moyenne (cf. tableau XII).

□ **Conclusion partielle**

Malgré des cernes nettement plus larges, le bois des arbres éclaircis ne semble pas devoir présenter une infradensité inférieure. Des études plus fines devront être menées pour expliquer ce phénomène. On peut penser, en particulier, que la texture (largeur du bois final/largeur totale du cerne) est, pour les largeurs de cernes observées, pratiquement constante. Des mesures par microdensitométrie et radiographie devraient pouvoir tester la validité de cette hypothèse.

Remarque : les infradensités trouvées correspondent, pour des résineux, à du bois lourd. Elles sont cohérentes :

- avec les densités anhydres de bois mature supérieures à 500 kg/m³, déterminées par RAKOTOVAO (1988) par méthode hydrostatique sur des *Pinus kesiya* du Mangoro âgés de 14 et 17 ans,
- avec les densités « sec à l'air » de pins d'Indochine (*Pinus kesiya* et *Pinus merkusii*) qui varient de 500 à 900 kg/m³ dans l'aire d'origine de ces espèces (Anonyme, 1949).

Rétractibilités tangentielle et radiale :

□ **Evolution avec l'âge de l'arbre**

Comme pour la densité, les rétractibilités tendent à augmenter avec

l'âge des individus (cf. tableau XI). Traitements et niveaux confondus, la rétractibilité tangentielle (respectivement radiale) moyenne passe de 6,62 % (resp. 3,27 %) avant 1987 à 7,50 % (resp. 4,29 %) après cette date.

□ **Evolution avec l'âge cambial**

Pour une période donnée, les rétractibilités ont une tendance, moins marquée que pour l'infradensité, à diminuer en montant le long de la tige (cf. tableau XI).

□ **Evolution avec l'éclaircie**

L'augmentation des rétractibilités après 1987 est sensiblement plus forte pour les arbres-témoins (cf. tableau XIII) ; en moyenne :

- + 1,28 % à comparer à + 0,47 % sur la rétractibilité tangentielle,
- + 1,37 % à comparer à + 0,67 % sur la rétractibilité radiale.

□ **Conclusion partielle**

L'éclaircie ne semble pas devoir conduire à la formation d'un bois présentant plus de retrait et donc plus nerveux, l'inverse étant même observé sur l'échantillon étudié.

Comportement des sciages avivés au cours du séchage

Après 45 jours de séchage :

□ Les sciages tirés des arbres éclaircis et témoins se sont comportés de façon identique :

- ni gauchissement ni voilement longitudinal,
- pas d'affaissement sur les faces,
- les sciages sur dosses ont tous « tiré » à cœur,
- les sciages sur quartier sont restés plats.

□ Pour les deux traitements, la répartition de l'humidité est uniforme dans les différentes parties des

| Traitements | Niveaux | Di _{moy} AVE (1) | Di _{moy} APE (2) | (2)-(1) |
|----------------|---------|------------------------------|------------------------------|---------|
| Témoins | 0,30 m | 531,3 | 596,0 | 64,7 |
| | 1,30 m | 532,7 | 556,3 | 23,6 |
| | 4,30 m | 508,3 | 557,7 | 49,4 |
| | 8,30 m | 516,7 | 529,7 | 13,0 |
| | 12,30 m | 505,7 | 509,0 | 3,3 |
| | Moyenne | | 518,9 | 549,7 |
| T ₃ | 0,30 m | 600,7 | 653,0 | 52,3 |
| | 1,30 m | 601,0 | 670,0 | 69,0 |
| | 4,30 m | 591,0 | 626,3 | 35,3 |
| | 8,30 m | 567,7 | 599,7 | 32,0 |
| | 12,30 m | 565,7 | 579,3 | 13,6 |
| | Moyenne | | 585,2 | 625,7 |

AVE : avant la date d'éclaircie. APE : après la date d'éclaircie. Infradensité : Di_{moy} en kg/m³.



TABLEAU XIII

RÉTRACTIBILITÉS RADIALE ET TANGENTIELLE AVANT ET APRÈS ÉCLAIRCIE ET VARIATION CORRESPONDANTE
POUR LES ARBRES-TÉMOINS ET ÉCLAIRCIS À 300 TIGES/HA (T₃)
Valeurs moyennes suivant les niveaux

| Traitements | Niveaux | AVE | | APE | | (2)-(1) | (2)-(1) |
|----------------|---------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------|---------|
| | | RT _{moy.} (1) | RR _{moy.} (1) | RT _{moy.} (2) | RR _{moy.} (2) | | |
| Témoïn | 0,30 m | 6,96 | 3,49 | 8,50 | 5,39 | 1,54 | 1,90 |
| | 1,30 m | 7,20 | 3,37 | 8,45 | 4,51 | 1,25 | 1,14 |
| | 4,30 m | 6,73 | 3,06 | 8,04 | 4,68 | 1,31 | 1,62 |
| | 8,30 m | 6,47 | 3,29 | 7,88 | 4,59 | 1,41 | 1,30 |
| | 12,30 m | 6,43 | 3,09 | 7,34 | 4,00 | 0,91 | 0,91 |
| | Moyenne | | 6,76 | 3,26 | 8,04 | 4,63 | 1,28 |
| T ₃ | 0,30 m | 6,44 | 3,41 | 6,90 | 3,98 | 0,46 | 0,57 |
| | 1,30 m | 6,85 | 3,42 | 7,17 | 4,12 | 0,32 | 0,70 |
| | 4,30 m | 6,56 | 3,18 | 6,98 | 4,06 | 0,42 | 0,88 |
| | 8,30 m | 6,47 | 3,19 | 6,95 | 3,93 | 0,48 | 0,74 |
| | 12,30 m | 6,08 | 3,19 | 6,74 | 3,64 | 0,66 | 0,45 |
| | Moyenne | | 6,48 | 3,28 | 6,95 | 3,95 | 0,47 |

AVE : avant la date d'éclaircie. APE : après la date d'éclaircie. Rétractibilité radiale : RR_{moy.} en %. Rétractibilité tangentielle : RT_{moy.} en %.

pièces (bois de cœur, bois mature formé avant et après la date d'éclaircie) ; l'humidité moyenne est de 18 % pour l'épaisseur 27 mm et 21 % pour l'épaisseur 42 mm.

□ L'épaisseur est homogène dans la longueur et la largeur de toutes les pièces :

- 25,8 mm pour les sciages de 27 mm d'épaisseur initiale,
- 40,3 mm pour les sciages de 42 mm d'épaisseur initiale.

Remarque : le retrait dans le sens de la largeur des pièces avivées est d'environ 4 %. Ce chiffre est à rapprocher de la rétractibilité radiale obtenue sur éprouvettes qui varie de 3,3 à 5,08 %.

RAPPEL DES RÉSULTATS

En conclusion, on peut préconiser des éclaircies de rattrapage de forte intensité dans les plantations âgées bien venantes de la Fanalamanga :

Sylviculture

- Les peuplements ne sont pas fragilisés, même dans le cas d'interventions de très forte intensité.
- La réaction individuelle des arbres est très marquée et ceci d'autant plus que les éclaircies sont intenses ; cette observation est vérifiée quelles que soient les catégories de tiges entrant en comparaison.

• Même si le témoin se caractérise par le plus fort accroissement en volume, la perte de production liée aux éclaircies reste limitée (de -12 à -43 m³/ha, soit de -7 % à -23 % de la production de T₀). Ce résultat est particulièrement remarquable car, rappelons-le, on a ôté de 57 à 78 % des tiges et de 44 à 68 % de la surface terrière initiale.

• L'éclaircie laissant 300 tiges/ha semble à conseiller même si la production pour l'éclaircie à 450 tiges/ha est supérieure (+ 8 % sur la surface terrière et + 15 % sur le volume). En effet :

– l'accroissement en circonférence est sensiblement plus important (+ 29 % pour les 300 plus belles





tiges/ha), la différence entre les deux traitements devant encore s'accroître pendant plusieurs années,

— sur ces peuplements, moins de 200 tiges/ha présentent à la fois une bonne forme et une bonne vigueur.

TECHNOLOGIE

Par rapport aux tiges dominantes/codominantes des peuplements-témoins, celles des plantations fortement éclaircies produisent un bois :

- de densité au moins égale,

- de rétractibilités tangentielle et radiale comparables voire inférieures,

- présentant un comportement identique au séchage,

et qui répond aux exigences « bois d'œuvre » de la Fanalamanga.

La décision d'effectuer de telles interventions doit cependant tenir compte des coûts induits par ces opérations d'éclaircie. C'est dans ce but que la Fanalamanga a mis en place un chantier-pilote pour juger de la faisabilité financière de telles éclaircies de rattrapage.

Remerciements : les auteurs de cet article tiennent à remercier la Société de reboisement de la Fanalamanga pour son aide précieuse lors de la mise en place de l'essai, ainsi que J.-C. BERGONZINI, F. HOULLIER, C. DELEUZE et les lecteurs anonymes pour les corrections qu'ils ont suggérées.

▷ Jean-Pierre BOUILLET
Marcel LEFEVRE
Mission CIRAD-Forêt
B.P. 745 ANTANANARIVO
(Madagascar)

▷ Georges RAKOTOVAO
FOFIPA/D.R.F.P.
B.P. 904 ANTANANARIVO
(Madagascar)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ADLARD (P. G.), 1980.

Growing stock levels and productivity conclusions from thinning and spacing trials in young *Pinus patula* stands in Southern Tanzania. Commonwealth Forestry Institute, Occasional papers n° 8, 12 p.

ANONYME, 1949.

Nos bois tropicaux. Comité National des Bois Tropicaux, plaquette documentaire, 31 p.

BARBOUR (R. J.), BAILEY (R. E.), COOK (J. A.), 1992.

Evaluation of relative density, diameter growth, and stem form in a red spruce (*Picea rubens*) stand 15 years after precommercial thinning. Can. J. For. Res., Vol. 22, N° 2, pp. 229-238.

BARCLAY (H. J.), LAYTON (C. R.), 1990.

Growth and mortality in managed Douglas fir : relation to a competition index. Forest Ecology and Management, Vol. 36, pp. 187-204.

BARNEOUD (C.), SEFFRE (R.), 1971. Premiers résultats de l'éclaircie systématique dans deux jeunes peuplements d'épicéa. Annales AFOCEL, pp. 247-277.

BONDUELLE (P.), 1978.

Comportement des arbres dominants d'une plantation d'épicéa ou de Douglas après une première éclaircie. Annales AFOCEL, pp. 403-441.

BOUILLET (J.-P.), 1991.

Première éclaircie dans le peuplement de *Pinus kesiya* de la Fanalamanga : nécessité d'une sylviculture dynamique. Actes du 10^e Congrès Forestier Mondial, Paris-1991, tome 5, pp. 172-178.

BOUILLET (J.-P.), 1993. Influence des éclaircies sur la forme du tronc — anisotropie radiale et profil en long — de *Pinus kesiya* dans la région du Mangoro (Madagascar). Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts, 247 p., thèse en Sciences Forestières.

BOUILLET (J.-P.), 1994.

Improvement by clearings of trunk taper in connection with the Pressler law. Example of *Pinus kesiya* in Madagascar. Communication IUFRO, Working party S5.01.04, Connection between silviculture and wood quality through modelling approaches and simulation softwares, Hook, 13-17 Juin, 1 p.

BOUILLET (J.-P.), LEFEVRE (M.), 1987.

Essai Mangoro N° 54. Eclaircies dans un peuplement bien venant de *Pinus kesiya* âgés de 14 ans. Résultats après 2 ans. Note DRFP/FOFIFA N° 573, 34 p.

BOUILLET (J.-P.), LEFEVRE (M.), 1989.

Résumé succinct des principaux résultats. Essais Mangoro N°s 7, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 60, 64, 66, 77. Note DRFP/FOFIFA N° 610, 33 p.

BOUILLET (J.-P.), LEFEVRE (M.), 1990.

Essai Mangoro N° 60. Première éclaircie sur *Pinus kesiya* âgés de 9 et 10 ans. Note DRFP/FOFIFA N° 635, 61 p.

BOUILLET (J.-P.), LEFEVRE (M.), 1992.

Houppier utile de *Pinus kesiya* en peuplement dans la région du Mangoro. Note DRFP/FOFIFA N° 671, 34 p.

CAILLIEZ (F.), BLANC (N.), 1979.

Description du programme de calcul des tarifs de cubage. Nogent-sur-Marne, Centre Technique Forestier Tropical, Note interne N° 17, 58 p.

CHAPERON (H.), 1986.

La culture du pin maritime en Aquitaine. AFOCEL (éd.), 223 p.



- CREGG (B. M.), DOUGHERTY (P. M.), HENNESSY (T. C.), 1988.
Growth and wood quality of young loblolly pine trees in relation to stand density and climatic factors. *Canadian Journal of Forestry Research*, Vol. 18, pp. 851-858.
- DAGNELIE (P.), 1973.
Théorie et méthodes statistiques. Volume 2. Presses agronomiques de Gembloux, 378 p.
- DEAN (T. J.), LONG (J. N.), 1986.
Ann. Bot., Vol. 58, N° 833, cités par WEST *et al.*, 1989.
- DE CHAMPS (J.), 1990.
Conduite intensive des peuplements de Douglas. In : De la forêt cultivée à l'industrie de demain, Tome II, Actes du troisième colloque « Science et industries du bois », 14-15 mai 1990, Bordeaux, pp. 505-515.
- DE CHAMPS (J.), FERRON (J. L.), MICHAUD (D.), SAVATIER (N.), 1982.
Leçons à tirer de la tempête des 6-8 novembre 1982. *Annales AFOCEL*, pp. 1-101.
- DHOTE (J. F.), 1990.
Modèles de la dynamique des peuplements forestiers : articulation entre les niveaux de l'arbre et du peuplement. Application à la sylviculture des hêtraies. Université Claude Bernard, Lyon 1, 240 p., Thèse de Doctorat.
- DRFP/FOFIFA, 1992.
Rapport final sur la convention N° 14/88-89 de recherches d'appui et d'accompagnement pour le reboisement industriel de la Fanalamanga. Note DRFP/FOFIFA N° 678, 92 p.
- DUFF (G. H.), NOLAN (N. J.), 1953.
Growth and morphogenesis in the Canadian forest species. I. The controls of cambial and apical activity in *Pinus resinosa* Ait. *Canadian Journal of Botany*, Vol. 31, pp. 471-513.
- FORWARD (D. F.), NOLAN (N. J.), 1961.
Growth and morphogenesis in the Canadian forest species. IV. Radial growth in branches and main axis of *Pinus resinosa* Ait. under conditions of open growth, suppression, and release. *Canadian Journal of Botany*, Vol. 39, pp. 385-409.
- GUENEAU (P.), 1970.
Caractéristiques et utilisations des pins à Madagascar (*Pinus patula* et *Pinus khasya*). *Bois et Forêts des Tropiques* N° 133, pp. 39-51.
- JACOBS (M. R.), 1939.
A study on the effect of sway on trees. *Commonwealth Forestry Bureau, Bulletin* N° 26, pp. 7-17.
- JACOBS (M. R.), 1954.
A study on the effect of wind sway on the form and development of *Pinus radiata* D. Don. *Australian J. Bot.*, Vol. 2, pp. 35-51.
- JOVER (L.), 1978.
L'amélioration des peuplements artificiels d'épicéa (*P. abies* Karst). Approche sociologique. *Annales AFOCEL*, pp. 353-401.
- LARSON (P. H.), 1963.
Stem form development of forest trees. *Forest Science, Monograph* N° 5, 42 p.
- LARSON (P. H.), 1965.
Stem form of young *Larix* as influenced by wind and pruning. *Forest Science* Vol. 2, N° 4, pp. 412-424.
- LEBAN (J. M.), HOULLIER (F.), GOY (B.), COLIN (F.), 1991.
Les propriétés de base du bois d'épicéa et les caractéristiques technologiques. *Forêt-Entreprise* N° 80, pp. 18-23, 26.
- LOUPPE (D.), LEFÈVRE (M.), 1986.
Essai d'éclaircies sur *Pinus kesiya*. Installation et premiers résultats. Essai 53 - Ambohibary. Note DRFP/FOFIFA N° 553, 38 p.
- MALIMBWI (R. E.), PERSSON (A.), IDDI (S.), CHAMSHAMA (S. A. O.), MWIHOMEKE (S. T.), 1992.
Effects of spacing on yield and some wood properties of *Pinus patula* at Rongai, northern Tanzania. *Forest Ecology and Management*, Vol. 53, pp. 297-306.
- MEGRAW (R. A.), NEARN (W. T.), 1972.
Detailed Dbh density profile of several trees from Douglas-fir fertilizer/thinning plots. *Proc. Symp. on the Effect of Growth Acceleration on the Properties of Wood*, USDA For. Serv., Madison, WI, USA, cités par MOSCHLER *et al.* (1988).
- MELIN (N.), RIOU-NIVERT (P.), 1985.
La qualité du bois de Douglas dépend-elle de la sylviculture ? *Forêt-Entreprise*, N° 32, pp. 18-24.
- METZGER (K.), 1893.
Der Wind als massgebender Faktor für das Wachstum der Bäume. *Mündener forstl. Hefte*, Vol. 3, pp. 35-86, cité par LARSON, 1963.
- METZGER (K.), 1894.
Studien über den Aufbau der Waldbäume und Bestände nach statischen Gesetzen. *Mündener forstl. Hefte*, Vol. 5, pp. 61-74, cité par LARSON, 1963.
- METZGER (K.), 1895.
Studien über den Aufbau der Waldbäume und Bestände nach statischen Gesetzen. *Mündener forstl. Hefte*, Vol. 7, pp. 45-97, cité par LARSON, 1963.
- MITCHELL (K. J.), 1975.
Dynamics and simulated yield of Douglas fir. *Forest Science Monograph* N° 17, 40 p.
- MORROW (R. R.), 1974.
Stem form and radial growth of red pine after thinning. *Northern Logger and Timber Processor*, pp. 20-21, 44.
- MOSCHLER (W. W.), DOUGAL (E. F.), MCRAE (D. D.), 1989.
Density and growth ring characteristics of *Pinus taeda* L. following thinning. *Wood and Fiber Science*, Vol. 21, N° 3, pp. 313-319.
- MOTHE (F.), MOVASSAGHI (H.), THIBAUT (B.), 1991.
Le déroulage du bois de Douglas et de l'Épicéa - Quelques résultats de recherche. *Forêt-Entreprise* N° 80, pp. 28-36.
- NEPVEU (G.), 1988.
Implication d'une sylviculture intensive sur la qualité du bois des conifères. *Forêt-Entreprise* N° 51, pp. XXV-XXXI.
- ORALLO (C. A.), 1986.
Thinning natural sapling stand of Benguet Pine (*Pinus kesiya* Royle ex. Gordon). *The Philippine Lumberman*, July, pp. 25-27, 36.
- OSWALD (H.), 1984.
Production et sylviculture du Douglas en plantations. *Revue Forestière Française*, Vol. 4, Numéro spécial « Evolution et traitements





des plantations d'Epicea commun et de Douglas », pp. 268-278.

PARDE (J.), BOUCHON (J.), 1988.
Dendrométrie. Deuxième édition. Nancy : ENGREF, 328 p.

PENAFIEL (S. R.), 1973.
Preliminary results of the study on spacing in Benguet Pine (*Pinus insularis* Endl.). Philippines : Forest Research Division, occasional paper N° 49, 6 p.

RAKOTONDRAINIBE (C.), 1994.
Traitement des données recueillies depuis 21 ans sur le CCT Plots du Mangoro : présentation et analyse des résultats. Université d'Antananarivo, Faculté des Sciences, Madagascar, 153 p. Mémoire de DEA en Sci. Biol. Appl. Opt. Ecol. Végét. et Forest.

RAKOTOVAO (G.), 1988.
Etude papetière des bois malgaches. Rapport d'étude, Contrat de formation-insertion CIRAD/FOFIFA, 34 p.

SARAMÄKI (J.), 1992.
A growth and yield production model of

Pinus kesiya (Royle ex Gordon) in Zambia. Acta Forestalia Fennica, Vol. 230, 68 p.

SMITH (D. M.), 1968.
Wood quality of loblolly pine after thinning. USDA For. Prod. Lab. Res. paper FLP. 89, cité par MOSCHLER *et al.* (1988).

TELEWSKI (F. W.), JAFFE (M. J.), 1981.

Thigmomorphogenesis in the morphology and chemical composition induced by mechanical perturbation in 6-month-old *Pinus taeda* seedlings. Canadian Journal of Forestry Research, Vol. 11, pp. 380-387.

THIVOLLE-CAZAT (A.), 1986.
Influence de deux régimes d'éclaircie sur les caractéristiques dendrométriques d'un peuplement d'Epicea. Annales AFOCEL, pp. 79-97.

VALINGER (E.), 1992.
Effects of wind sway on stem form and crown development of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Australian Forestry, Vol. 55, pp. 15-21.

VAN LEAR (D. H.), SAUCIER (J. R.), WILLIAMS Jr (J. G.), 1977.

Growth and wood properties of Longleaf Pine following silvicultural treatments. Soil Sci. Soc. Am. J., Vol. 40, pp. 989-991.

WEST (P. W.), JACKETT (D. R.), SYKES (S. J.), 1989.

Stresses in, and the shape of, tree stems in forest monoculture. J. Theor. Biol., Vol. 140, pp. 327-343.

WOLENS (R. C.), WHYTE (A. G. D.), 1989.

Analysis of growth and yield from three Kaingora thinning experiments. New Zealand Forestry, pp. 12-15.

ZOBEL (B.), WHITESELL (C. D.), THORBJORSEN, HENSON (F.), ROBERTS (J.), 1960.

Geographic, site and individual tree variation in wood properties of loblolly pine. NC Stat. Uni, Silvae Genet. Forest Tech. Re., Vol. 9, pp. 129-168.

**LE NOUVEAU CATALOGUE
DES PUBLICATIONS DU CIRAD-Forêt
EST PARU**

Il vous sera envoyé sur simple demande adressée au :

SERVICE DES PUBLICATIONS

CIRAD-Forêt

45 bis, avenue de la Belle-Gabrielle

94736 NOGENT-SUR-MARNE CEDEX (FRANCE)

R É S U M É

ECLAIRCIE DE RATRAPAGE DE *PINUS KESIYA* À MADAGASCAR.

Les plantations bien venantes, âgées (≥ 12 ans) et jamais éclaircies, de *Pinus kesiya* couvrent 10 000 ha du massif de la Fanalamanga. La possibilité d'éclaircies de rattrapage de tels peuplements a été testée au travers d'un essai comparant quatre traitements : témoin ($\approx 1\ 330$ tiges/ha) et trois intensités d'éclaircie laissant 600, 450 et 300 tiges après intervention. Après six ans, les peuplements ne sont pas fragilisés, même dans le cas d'interventions de très forte intensité ; la réaction individuelle des arbres est très marquée et ceci d'autant plus que les éclaircies sont intenses ; cette observation est vérifiée quelles que soient les catégories de tiges entrant en comparaison ; même si le témoin se caractérise par le plus fort accroissement en volume, la perte de production liée aux éclaircies reste limitée. D'un point de vue technologique on observe que, par rapport à celles des peuplements-témoins, les tiges dominantes/codominantes des plantations fortement éclaircies produisent un bois de densité au moins égale, de rétractibilités tangentielle et radiale comparables voire inférieures, présentant un comportement identique au séchage. Ce bois répond aux exigences « bois d'œuvre » de la Fanalamanga. Des éclaircies de rattrapage de forte intensité (≈ 300 tiges/ha après intervention) peuvent donc être préconisées.

Mots-clés : Eclaircie forestière. Croissance. Production. Technologie du bois. *Pinus kesiya*. Madagascar.

A B S T R A C T

LATE THINNING OF *PINUS KESIYA* IN MADAGASCAR

In Fanalamanga there are 10 000 ha of fast growing uncleared plantations of *Pinus kesiya* which are older trees (age ≥ 12 years). A test was conducted to see if such plantations could be cleared. Four treatments were compared : one control ($\approx 1\ 330$ stems/ha) and three clearing intensities (600/ha, 450/ha and 300/ha remaining stems). After 6 years the stands are not weakened, even if they are submitted to a very high clearing intensity. Cleared trees exhibit great radial increments. These increments increase with clearing intensity. This result is observed for all the different types of trees compared. Uncleared stands exhibit the greater volume increment but the loss of production induced by clearings is reduced. Moreover we have compared the quality of the wood produced by dominant/codominant trees which are uncleared or submitted to a very high clearing intensity. The cleared trees exhibit wood with a density at least equal to the uncleared trees and with the same or even less tangential and radial shrinkages. They also have an identical behaviour to air drying. This wood has the timber qualities required by Fanalamanga. Late clearings with considerable intensity (≈ 300 /ha remaining stems) can be recommended.

Key words : Thinning. Growth. Production. Wood technology. *Pinus kesiya*. Madagascar.

R E S U M E N

CORTAS DE ACLAREO DE RECUPERACION DE *PINUS KESIYA* EN MADAGASCAR

Las plantaciones que se desarrollan sin problemas, de edad ≥ 12 años y que no se han sometido nunca a cortas de aclareo de *Pinus kesiya* cubren una superficie de 10 000 ha en el macizo de la Fanalamanga. La posibilidad de cortas de aclareo de recuperación de semejantes poblaciones forestales, ha sido objeto de pruebas por medio de un ensayo con comparación de un tratamiento testigo ($\approx 1\ 330$ tallos/ha) y tres intensidades de aclareo que dejan perdurar 600, 450 y 300 tallos una vez finalizada la intervención. Transcurridos seis años, las poblaciones no se encuentran fragilizadas incluso en los casos de intervenciones de muy acusada intensidad ; la reacción individual de los árboles es muy señalada y ello con tanto mayor motivo cuanto más intensas son las cortas de aclareo. Esta observación se comprueba sean cuales fueren las categorías de tallos que entran en la comparación. Incluso cuando el testigo se caracteriza por el mayor incremento de volumen, la pérdida de producción relacionada con los aclareos permanece a un nivel limitado. Desde un punto de vista tecnológico se observa que, por comparación con aquellos de las poblaciones testigo, los tallos dominantes/codominantes de las plantaciones ampliamente sometidas a las cortas de aclareo producen una madera de densidad que, por lo menos, es equivalente, con retractsibilidades tangenciales y radiales comparables e incluso inferiores y que presentan un comportamiento idéntico al secado. Esta madera responde a los requerimientos de las « maderas para construcción » de Fanalamanga. Por consiguiente, se pueden preconizar cortas de aclareo de recuperación de intensidad elevada (≈ 300 tallos/ha una vez finalizada la intervención).

Palabras clave : Aclareo. Crecimiento. Producción. Tecnología de la madera. *Pinus kesiya*. Madagascar.



SYNOPSIS

LATE THINNING OF PINUS KESIYA IN MADAGASCAR

J.-P. BOUILLET, G. RAKOTOVAO

CONTEXT

Since 1969, Fanalamanga has set up in the region of Mangoro 70,000 hectares of pines including about 50,000 *Pinus kesiya*. In 1984, the objective of this reforestation was extended from the production of paper pulp to the production of timber for the better stands (about 35,000 hectares). This brought up the question as to the possibility of reviving stands which are coming on well but are already aged (12 years and more), never having been thinned. The economic stakes are considerable because these stands cover almost 10,000 hectares.

EQUIPMENT AND METHODS

The test was conducted on plateaus of good fertility. The altitude is 900 m and the rainfall 1,500 mm with an average annual temperature of 20 °C. The system is in complete blocks placed randomly in four repetitions. Four treatments are compared :

T_0 : Unthinned control (1,330 stems/ha on average).

T_1 : Selective thinning leaving 600 stems per hectare.

T_2 : Selective thinning leaving 450 stems per hectare.

T_3 : Selective thinning leaving 300 stems per hectare.

The comparison of treatments covers (for one hectare) :

The 600 best trees of the control with the 600 of the treatment T_1 ($T_{0,600}/T_1$).

The 450 best trees of the control with the 450 of T_2 of the treatment T_2 ($T_{0,450}/T_{1,450}/T_2$).

The 300 best trees of the control with the 300 of T_1 and T_2 of the treatment T_3 ($T_{0,300}/T_{1,300}/T_{2,300}/T_3$).

RESULTS**□ Silviculture and production**

After six years, the results are as follows :

• Mortality-Stability of stands

Thinning, even very intense, does not fragilize the stands.

• Increase in height

There is a non-significant tendency to lesser growth for highly thinned treatments (T_2 and T_3).

• Increase in circumference

All treatments differ significantly with each other whatever the category of individuals being compared. The reaction of the stems increases as the thinning intensity increases.

– 300 better stems/ha ; the increase of $T_{3,300}$ is 29 % more than that of $T_{2,300}$, 70 % more than that of $T_{1,300}$ and 240 % more than that of $T_{0,300}$.

– 450 better stems/ha ; the increase of $T_{2,450}$ is 30 % more than that of $T_{1,450}$ and 157 % more than that of $T_{0,450}$.

– 600 better stems/ha ; the increase of $T_{1,600}$ is 106 % more than that of $T_{0,600}$.

The rates of increase, calculated in relation to the increase in the control, show that the better growth dynamic induced by thinning to 300 stems/ha is maintained and even has a tendency to be amplified.

• Increase in basal area and in volume

– Basal area

Thinning to 450 stems/ha induced a significant production, higher than that of other treatments.

• T_1 and T_3 are not significantly different.

• The control is the treatment which is significantly less productive (-1.77 m²/ha or -16 % in relation to the average of T_1 and T_3 ; -2/62 m²/ha or -23 % in relation to T_2).

– Total volume

• The control exhibits the production which is significantly the highest but the difference with thinned treatments should no longer increase.

• T_1 and T_2 are not significantly different.

• T_3 is the treatment which is significantly the least productive (-28.6 m³/ha or -16.4 % in relation to the average of T_1 and T_2 ; -43.3 m³/ha or -22.8 % in relation to the control).

This non-correspondence between increase in basal area and volume is explained by a greater increase in height of the control trees and a greater average taper in the thinned trees.

□ Technology

The study covers three dominant/codominant trees of the control and three of T_3 .

• Width of growth layers

The radial growth of thinned trees is about twice that of the control trees, the discontinuity before and after intervention being noticeable especially between 0.30 and 4.30 m.

• Iniradensity

The timber of thinned trees does not appear likely to exhibit lower infradensity, this being even slightly higher on the examined sample.

• Tangential and radial shrinkage

Thinning does not appear likely to lead to the formation of timber exhibiting greater shrinkage and hence more sinewy, the opposite even being observed on the examined sample.

• Behaviour of square-edged timber during air drying

After 45 days of seasoning :

• Timber from thinned and control trees had the same behaviour.

• For the two treatments, the distribution of moisture is uniform in the different parts of the timber (heartwood, mature wood formed before and after the thinning date).

• Thickness is uniform in length and width of all the pieces.

CONCLUSION

Thinning leaving 300 stems/ha appears to be recommended even if production for the area thinned to 450 stems/ha is higher (+ 8 % on the basal area and + 15 % volume). Indeed :

• The increase in circumference is substantially greater (+ 29 % for the 300 best stems/ha), and the difference between the two treatments should increase further for several years.

• On these stands, less than 200 stems/ha exhibit both better form and better vigour.

• The timber produced exhibits properties comparable to those of timber from the control trees and meet the « timber » requirements of Fanalamanga.

The final decision to proceed with such interventions should however take into account the cost involved in the recommended thinning operations.