

JEAN-PIERRE BOUILLET
CIRAD-Forêt
avec la collaboration de
MARCEL LEFEVRE

INFLUENCE DES ÉCLAIRCIES SUR LA FORME DU TRONC DE *PINUS KESIYA*

Une sylviculture intensive
a-t-elle un impact
sur la forme en long
des troncs de *Pinus kesiya*
plantés pour répondre
à une production
de bois d'œuvre ?

Une équipe du CIRAD-Forêt,
travaillant au sein
du FOFIFA/D.R.F.P.,
s'est livrée à cette étude
dans la région de Mangoro,
à Madagascar, et vous livre
ici les résultats
de ses essais.

Arbre abattu sur lequel ont été faites
des mesures pour le profil en long des
tiges.
*Felled tree on which stem longitudinal
section measurements were
made.*



OBJECTIF ET MÉTHODE

La FANALAMANGA (Société de reboisement du Mangoro) a mis en place depuis 1969 environ 70 000 ha de pins tropicaux, dont 50 000 ha de *Pinus kesiya*. L'objectif était à l'origine la production de pâte à papier mais, à partir de 1984, la production de bois d'œuvre pour le sciage et le déroulage est devenue l'objectif principal, entraînant le passage en éclaircie des jeunes peuplements bien venants. Au travers de plusieurs essais (BOUILLET, 1991, 1992 ; BOUILLET, ANDRIANIRINA, 1989 ; BOUILLET, LEFEVRE, 1990 ; D.R.F.P.* / FOFIFA*, 1985 et 1987 ; LOUPE, LEFEVRE, 1986 ; RAKOTONDRAINIBE, 1994), la recherche forestière a pu mettre en évidence que des éclaircies fortes et précoces conduisaient à une stimulation marquée de l'accroissement radial des arbres restant sur pied en ne conduisant qu'à des pertes de production limitées (en surface terrière/volume) au niveau du peuplement. Mais pour que la FANALAMANGA puisse juger du bien-fondé d'une telle sylviculture intensive, il est nécessaire de répondre à la question suivante : quel est l'impact des éclaircies sur la forme en long du tronc, celle-ci conditionnant, pour une bonne part, le rendement en première transformation des grumes produites ?

CARACTÉRISATION DU PROFIL EN LONG DES TIGES

□ Généralités

Le profil en long des tiges peut être caractérisé par le défilement (ou décroissance métrique) moyen observé (PARDE, BOUCHON, 1988). Celui-ci exprime le nombre moyen de centimètres que perd la circonférence (ou le diamètre ou le rayon) par mètre de hauteur, en s'élevant le long de la tige. Mais le défilement moyen n'est en fait qu'une première approximation pour rendre compte du profil en long des arbres. En effet, le défilement ne varie pas linéairement avec la hauteur. Ainsi, PORQUET (1990) indique-t-il que le premier billon de *Pinus pinaster* dans les Landes présente un défilement beaucoup plus important que le second (2,50-5,00 m). Plus généralement, la forme d'un tronc d'arbre est trop complexe pour que la notion de défilement moyen ait véritablement un sens. PARDE et BOUCHON (1988) indiquent ainsi que : « ... l'arbre se rapproche du néloïde à son pied, puis du paraboloïde dans sa partie médiane, enfin du cône vers le sommet ».

En fait, pour pouvoir caractériser la forme en long des arbres, il est nécessaire d'établir des équations de pro-

fil de tiges, celles-ci pouvant être plus ou moins complexes suivant le degré de précision espéré et la forme des arbres étudiés. D'autres procédés de calcul peuvent aussi être envisagés comme l'utilisation d'analyses en composantes principales (LIU, KEISTER, 1977) ou de méthodes non paramétriques (M'HIRIT, POSTAIRE, 1983).

□ Equation de profil en long

Ce chapitre a fait l'objet d'un développement détaillé antérieur (BOUILLET, 1993) que nous résumerons ici.

• Notations

Définissons, pour un arbre donné, les variables suivantes (cf. fig. 1) :

H = Hauteur totale

h = Hauteur au-dessus du sol (niveau)

X = Distance relative à l'apex et normalisée à 1,30 m
 $(H-h)/(H-1,30)$

Z = Hauteur relative par rapport au sol, h/H

D = Diamètre à 1,30 m

d = Diamètre à une hauteur h

Y = Diamètre relatif, d/D

R = Rayon à 1,30 m

r = Rayon à une hauteur h

Y' = Rayon relatif, r/R

b_i = Paramètres (à estimer)

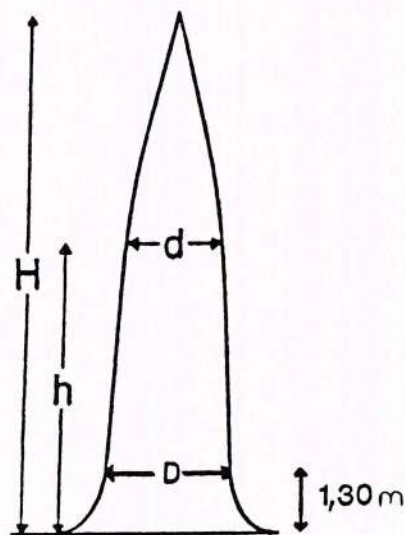


Figure 1. Principales variables utilisées pour caractériser le profil en long d'une tige.

Main variables used to describe the stem profile.

* D.R.F.P. Département des Recherches Forestières et Piscicoles.
FOFIFA: Centre National de la Recherche Appliquée pour le Développement Rural.

• Variables prédictrices

Pour une tige donnée, il est possible d'établir l'équation de profil en long (ou équation de défilement, formule de défilement ou courbe de profil), qui permet de prédire le diamètre (la circonférence) à n'importe quel niveau en fonction de la hauteur de ce niveau (CAILLIEZ, 1980) :

$$(1) \quad d = f(h)$$

« Pour que deux arbres de même forme soient représentés par la même courbe et que deux arbres ayant des courbes identiques aient la même forme » (CAILLIEZ, 1980), les profils sont classiquement représentés en coordonnées réduites (DELORD, 1984 ; GORDON, GRAHAM, 1986 ; M'HIRIT et POSTAIRE, 1983) :

$$(2) \quad d/D = f(h/H)$$

Afin d'améliorer la précision des prédictions, un certain nombre d'auteurs préconisent l'emploi de variables supplémentaires. La hauteur de la base du houppier vert ou le rapport entre la longueur du houppier vert et la hauteur totale sont ainsi utilisés par BURKHART et WALTON (1985) ou NEWNHAM (1988). Ces variables permettent, comme le rapport D/H introduit par NEWNHAM (1988, 1992), de tenir compte du statut social de l'arbre et plus généralement de l'espace aérien à sa disposition.

• Applications

Les équations de profil permettent d'estimer la hauteur à n'importe quelle découpe et le diamètre de la tige à une hauteur donnée. Parallèlement, en intégrant ces équations soit directement (LOWELL, 1986 ; MAX, BURKHART, 1976), soit numériquement (NEWNHAM, 1988, 1992 ; PEREZ *et al.*, 1990), on peut alors prédire le volume entre n'importe quelles découpes ou hauteurs choisies (FARRAR, 1987 ; KOZAK, 1988).

• Type d'équation retenue

L'assimilation d'un arbre à la superposition d'un tronc de néloïde à la base, d'un tronc de paraboloïde dans sa partie médiane et d'un cône dans la partie vivante du houppier n'est qu'une première approximation, la forme d'une tige évoluant d'une manière continue avec la hauteur. Pour rendre compte correctement de cette forme, il est préférable d'établir des équations de profil à exposant variable (KOZAK, 1988 ; NEWNHAM, 1988 et 1992). Rappelons le principe de cette méthode :

L'équation générale décrivant le profil des trois sections précédemment indiquées est la suivante (cf. fig. 2) :

$$(3) \quad d = (b_0 + b_1(H-h))^k \text{ ou}$$

$$(3') \quad Y = (b_0 + b_1X)^k$$

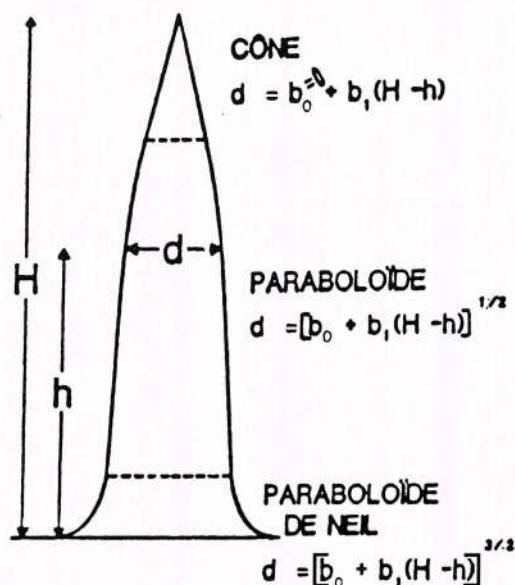


Figure 2. Formes géométriques conventionnelles des trois parties de la tige d'un arbre (d'après NEWNHAM, 1988).

Conventional geometric forms of the three parts of the stem of a tree (after NEWNHAM, 1988).

avec $k = 1$ pour un cône ; $k = 1/2$ pour un paraboloïde ; $k = 3/2$ pour un néloïde.

On fait l'hypothèse que k ne change pas brusquement de valeur à la jonction de deux sections mais graduellement tout au long de la tige.

NEWNHAM (1988), travaillant sur *Picea mariana* et *Pinus rubens*, avance ainsi (cf. fig. 3, p. 20) que k vaut 1 près du sommet, puis diminue progressivement jusqu'à une valeur comprise entre 1 et 0,5 vers le bas du houppier. En descendant le long de la tige, k diminue encore pour atteindre une valeur proche de 1/3 jusqu'à ce que l'influence de l'empatement entre en jeu ; k augmente alors rapidement pour atteindre 3/2 ou même davantage.

En posant que $Y = 0$ quand $X = 0$ (sommet de l'arbre) et que $Y = 1$ quand $X = 1$ (à 1,30 m), l'équation (3') devient :

$$(4) \quad Y = X^k$$

On en déduit :

$$(5) \quad k = \ln(Y)/\ln(X)$$

$$(5') \quad = \ln(d/D) / \ln[(H-h)/(H-1,30)]$$

Pour chacun des niveaux relevés sur les tiges-échantillons, on obtient donc une valeur de k ; il est alors pos-

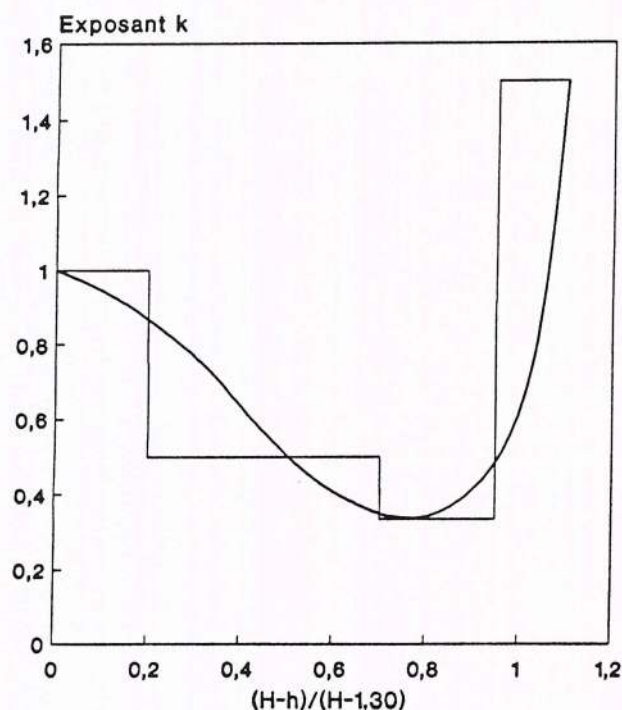


Figure 3. Relation théorique entre le paramètre de forme k et la hauteur relative par rapport à 1,30 m (d'après NEWNHAM, 1988, modifié).

Theoretical ratio between the form k parameter and the relative height at 1.30 m (after NEWNHAM, 1988, modified).

sible, par régression, d'établir une relation entre k et X ou Z et éventuellement d'autres variables explicatives.

Ainsi NEWNHAM (1988) propose parmi 24 modèles testés :

$$(6) \quad m = 1/k = b_0 + b_1 X^6 + b_2 (D/H) + b_3 X^2(D/H)$$

avec $b_0 > 0$, $b_1 < 0$, $b_2 < 0$, $b_3 > 0$

et

$$(7) \quad m = b_0 + b_1(D/H) + b_2 X(D/H)^2 + b_3 (1/h)$$

avec $b_0 > 0$, $b_1 < 0$, $b_2 > 0$, $b_3 < 0$

Par rapport à d'autres modèles plus classiquement utilisés comme les modèles polynomiaux, segmentés ou non (CAILLIEZ, 1980 ; DEMAERSHALK, KOZAK, 1977 ; KOZAK *et al.*, 1969), les équations de profil à exposant variable permettent une estimation plus précise et moins biaisée des diamètres de la tige (NEWNHAM, 1988 et 1992).

MESURES

Les observations portent sur les arbres dominants et co-dominants.

□ Echantillons

Les arbres-échantillons appartiennent à un dispositif CCT Plots mis en place à Ambodimandresy, dans le Département Centre de la FANALAMANGA. Le principe de ce dispositif d'éclaircies a été exposé par RAKOTONDRAINIBE (1994).



Parcelle A (non éclaircie).
Plot A (unthinned).



Parcelle H (200 tiges/ha).
Plot H (200 stems/ha).

L'échantillon se compose de :

- 28 arbres de 20 ans plantés à 2 000 tiges/ha et jamais éclaircis (densité à l'abattage : 1950 tiges/ha) : parcelle A du bloc 1 du dispositif,
- 30 arbres de 20 ans six fois éclaircis (densité : 200 tiges/ha) : parcelles H des quatre blocs du dispositif.

Les principales caractéristiques de ces arbres sont données aux tableaux I et II.

Bien que réduit, le nombre d'individus doit permettre de mettre en évidence l'effet des éclaircies sur la forme en long du tronc, surtout si les phénomènes sont marqués. Par contre, les équations de profil obtenues ne pourront être extrapolables directement à l'ensemble des peuplements de la zone d'étude ayant subi le même type de sylviculture.

☐ Niveaux de mesures

• Limite supérieure

Dans le cadre de ce travail, nous nous sommes seulement intéressés au tronc que nous avons défini comme la partie de la tige susceptible de fournir du bois d'œuvre. C'est pourquoi la limite supérieure a été arrê-

TABLEAU I

PARCELLE A DU BLOC 1 DU CCT PLOTS

Valeurs moyennes, minimales (Min.) et maximales (Max.) de la hauteur, du rayon moyen sous écorce à 1,30 m (R 1,30 m), du facteur d'élancement sous écorce (H/D 1,30 m) et de la hauteur du niveau supérieur prélevé des arbres plantés à forte densité et non éclaircis.

	Hauteur (m)	R 1,30 m (mm)	H/D 1,30 m	Niveau supérieur (m)
Moyenne	21,80	103,0	108,0	
Min./Max.	19,10/25,10	84,3/140,4	85,6/128,2	5,30/15,30

TABLEAU II

PARCELLES H DU CCT PLOTS

Valeurs moyennes, minimales (Min.) et maximales (Max.) de la hauteur, du rayon moyen sous écorce à 1,30 m (R 1,30 m), du facteur d'élancement sous écorce (H/D 1,30 m) et de la hauteur du niveau supérieur prélevé des arbres éclaircis six fois.

	Hauteur (m)	R 1,30 m (mm)	H/D 1,30 m	Niveau supérieur (m)
Moyenne	20,50	143,3	69,6	
Min./Max.	18,50/23,70	115,4/171,5	57,1/89,2	7,30/13,30

tée à un diamètre (= diamètre fin bout) de 15 cm sur écorce.

• Niveaux prélevés

Les niveaux prélevés sont les suivants : 0,30 m ; 1,30 m ; 2,30 m ; 3,30 m ; 4,30 m ; 5,30 m puis tous les 2 m jusqu'à la limite précédemment mentionnée. Suivant les arbres étudiés, le dernier niveau se situe entre 7,30 m et 15,30 m (dans 63 % des cas à 11,30 m ou 13,30 m). Si l'un des niveaux correspond à une couronne de branches, la rondelle est alors découpée à 20 cm au-dessus pour se situer dans l'interverticille. Aucune mesure n'a été prise dans la partie sommitale des tiges pour laquelle les équations de profil trouvées ne permettent donc pas, en toute rigueur, d'estimer les diamètres. Ceci n'est pas trop gênant puisque nous nous intéressons à l'influence des éclaircies sur la forme du seul tronc.

• Estimation des rayons moyens

Pour chacune des sections, le rayon moyen sous écorce est pris égal à la moyenne des longueurs, mesurées à la règle au demi-millimètre près, de 16 rayons séparés de $2\pi/16$ radians.

□ Ajustements réalisés

Nous avons établi des équations de profil à exposant variable de formule : $Y' = X^k$.

La comparaison des modèles reposera sur la réalisation d'un test F (TOMASSONE *et al.*, 1983), asymptotique

dans notre cas puisque les modèles sont non linéaires. Le seuil de signification statistique retenu est de 5 %.

RÉSULTATS

ÉQUATIONS DE PROFIL

Pour prédire le rayon relatif sous écorce en fonction de la hauteur relative, nous avons ajusté des modèles dont la forme générale est :

$$(8) \quad Y' = X^{[P1 + P2 \exp[-(P3/P2)Z]]} \text{ soit :}$$

$$(8') \quad r/R = [(H-h)/(H-1,30)]^{[P1 + P2 \exp[-(P3/P2)(h/H)]]}$$

Les estimations des paramètres sont données par le tableau III. La valeur réduite des écarts-types résiduels (r/R évalué en moyenne à 2,6-3,5 % près) et la bonne répartition des résidus ont conduit à l'adoption de ces modèles.

COMPARAISON DES ÉQUATIONS DE PROFIL

Les deux modèles ajustés sont significativement différents (cf. fig. 4). Dans les conditions du Mangoro, les éclaircies vont donc conduire à l'obtention d'arbres de formes différentes. Comme on pouvait s'y attendre, les arbres éclaircis se caractérisent par une forme « moins bonne » que les tiges-témoins. La figure 5, qui représente la forme d'un arbre moyen, illustre ce résultat : l'individu-type des parcelles H présente, au-dessus de l'empattement, un plus fort défilement que l'individu-type des parcelles A.

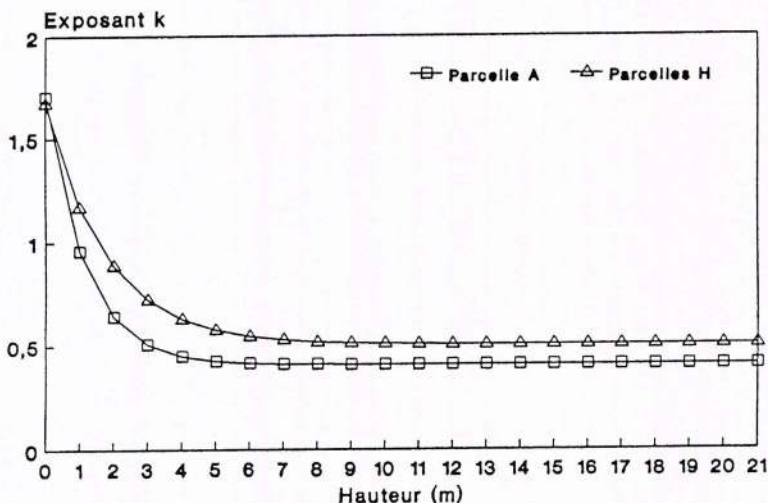


Figure 4. Variation le long de la tige de la valeur de k de l'équation $r/R = [(H-h)/(H-1,30)]^k$ pour les arbres-témoins (parcelle A) et éclaircis (parcelles H) du CCT Plots.

Variation along the stem of the value of k of the equation $r/R = [(H-h)/(H-1,30)]^k$ for control trees (plot A) and thinned trees (plots H) of the CCT plots.

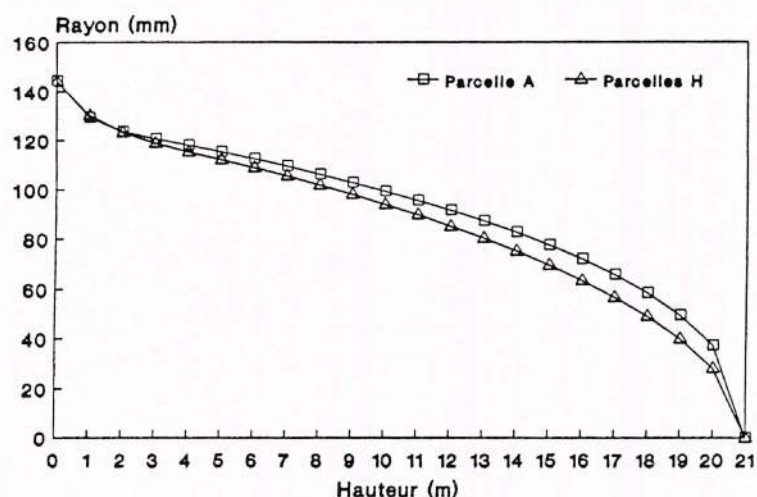
TABLEAU III

ARBRES PLANTÉS À FORTE DENSITÉ ET NON ÉCLAIRCIS (A)
ARBRES SIX FOIS ÉCLAIRCIS (H)

Estimation des paramètres du modèle d'ajustement du rayon relatif sous écorce (cf. équations (8) ou (8'))
de leur intervalle de confiance à 95 % et valeur de l'écart-type des résidus (ETR)

Arbres	P1	P2	P3	ETR
A	0,4092 ± 0,0157	1,2969 ± 0,2823	23,5238 ± 14,5319	0,0260
H	0,5037 ± 0,0197	1,1699 ± 0,2936	13,7418 ± 7,2259	0,0354

Figure 5. Profil en long d'un arbre moyen
H = 21 m, $R_{1,30} = 125$ mm : témoin (parcelle
A) et éclairci (parcelles H) du CCT Plots.
Taper curves of an average tree :
H = 21 m, $R_{1,30} = 125$ mm : control (plot A)
and thinned (plots H) of the CCT Plots.



INFLUENCE DES ÉCLAIRCIES SUR LE VOLUME UTILISABLE

□ Calcul des volumes

Pour les deux types de peuplement, les volumes sous écorce dans le cadre de notre travail sont calculés par intégration numérique. La tige est décomposée en billons élémentaires dont le volume est donné par la formule du tronc de cône :

$$V = \pi/3 (R1^2 + R1R2 + R2^2) L$$

où R1 et R2 sont les rayons à chaque extrémité, estimés à partir de l'équation (8) et L la longueur du billon que nous prenons égale à 10 cm.

Le volume entre deux découpes ou entre deux hauteurs données est calculé en effectuant la somme des volumes des billons correspondants.

□ Comparaison des volumes individuels de tiges-témoins et éclaircies

• Arbres moyens témoins et éclaircis

Nous avons comparé les volumes à différentes découpes ou hauteurs pour un individu moyen (le rayon à 1,30 m et la hauteur totale sont égales aux valeurs moyennes) des parcelles A et H. En pratique, nous avons calculé le volume situé au-dessus de la souche laissée sur le terrain, dont la hauteur est estimée à 30 cm. Le tableau IV, p. 24, présente les résultats obtenus.

Les éclaircies ont entraîné un accroissement en volume variant de 84 % pour la bille de pied jusqu'à 8,30 m à 99 % pour l'ensemble du tronc que nous avons arrêté à 15 cm sous écorce (en toute rigueur cette limite est de 15 cm sur écorce). Ce volume individuel nettement plus

TABLEAU IV

VALEURS DES VOLUMES À DIFFÉRENTES DÉCOUPES
POUR UN INDIVIDU MOYEN, TÉMOIN ET ÉCLAIRCI

Découpe : 15 cm, entre 0,30 m et 4,30 m
et entre 0,30 m et 8,30 m (en m³)

Différences observées :
en m³ et % du volume de l'arbre-témoin.

	V 15	V 4,3 m	V 8,3 m
Parcelle A (1)	0,319	0,128	0,234
Parcelle H (2)	0,635	0,243	0,430
Différence (2)-(1)	0,316/99,1	0,115/89,8	0,196/83,7

V 15 = Volume entre 0,30 m et la découpe (diamètre) 15 cm.

V 4,3 m = Volume entre 0,30 m et 4,30 m.

V 8,3 m = Volume entre 0,30 m et 8,30 m

élevé doit logiquement conduire à un prix de vente du m³ sensiblement plus important pour les arbres éclaircis (frais de mobilisation et de manutention réduits...).

• Arbres de mêmes dimensions

Dans le cadre de notre étude, il est important de pouvoir reprendre les calculs précédents avec des arbres de

TABLEAU V

VALEURS DES VOLUMES À LA DÉCOUPE
POUR UN INDIVIDU DE MÊMES DIMENSIONS,
TÉMOIN OU ÉCLAIRCI

Découpe : 15 cm, entre 0,30 m et 4,30 m
et entre 0,30 m et 8,30 m (en m³)

Différences observées :
en m³ et % du volume de l'arbre-témoin.

	V 15	V 4,3 m	V 8,3 m
Parcelle A (1)	0,526	0,188	0,342
Parcelle H (2)	0,465	0,184	0,327
Différence (1)-(2)	0,061/11,6	0,004/2,1	0,015/4,4

V 15 = Volume entre 0,30 m et la découpe (diamètre) 15 cm.

V 4,3 m = Volume entre 0,30 m et 4,30 m.

V 8,3 m = Volume entre 0,30 m et 8,30 m.

mêmes dimensions afin de mettre en évidence l'impact du défilement plus important induit par l'éclaircie sur le volume produit. Nous avons pris un arbre dont le rayon (125 mm) et la hauteur (21 m) correspondent aux valeurs moyennes relevées sur l'ensemble des individus. Les résultats sont présentés dans le tableau V.

On constate que les différences restent limitées, surtout pour la bille de pied (4,30 m et 8,30 m). En pratique, il apparaît que pour *Pinus kesiya* dans la région du Mangoro, des éclaircies précoces et répétées conduisent à des troncs dont la forme est peu différente de celle de tiges ayant toujours poussé à forte densité. Ce résultat diffère de ceux trouvés par exemple sur *Pinus banksiana* (MORRIS *et al.*, 1994) ou *Pseudotsuga menziesii* (DE CHAMPS, 1990 ; GUINAUDEAU, 1991 ; THOMSON, BARCLAY, 1984) : une détérioration sensible de la forme en long des tiges par les éclaircies ou par l'augmentation des écartements à la plantation.

• Volume utile de la bille de pied

Une autre manière de rendre compte de l'impact des éclaircies sur la forme du tronc est de nous placer dans une optique de première transformation (sciage ou déroulage) et d'estimer le gain unitaire en bois d'œuvre induit par ces interventions.

Les hypothèses simplificatrices suivantes sont retenues :

- nous ne prenons en compte que la *bille de pied*, ici posée comme comprise entre 0,30 m et 8,30 m, qui est la partie du tronc la mieux valorisée,
- le volume de référence est le *volume utile* qui est celui effectivement utilisé. Il ne peut être réellement estimé qu'en sciage ou déroulant un échantillon représentatif des peuplements concernés (OLISCHLÄGER, 1970). Cependant, en première approximation, on peut le définir pour le sciage comme le parallélépipède dont la section est celle du carré inscrit dans le petit bout de la grume, dont le périmètre est assimilé à un cercle. Dans le cas du déroulage, on assimile le volume utile au cylindre dont la section est le petit bout de la grume.

Pour nous rapprocher des opérations effectivement réalisées dans la pratique, la bille de pied est décomposée en deux parties : 0,30 m → 4,30 m (billon inférieur) et 4,30 m → 8,30 m (billon supérieur), cf. fig. 6. Les résultats sont donnés dans le tableau VI.

Même si le gain est un peu moins élevé que sur le volume réel, l'accroissement en volume utile induit par les éclaircies reste très important (+ 77 % par rapport à l'arbre-témoin). Le rendement sciage par exemple, calculé par rapport au volume réel de la bille de pied (cf. tableau IV), est alors de 57,2 % pour les arbres-témoins et de 55,1 % pour les arbres éclaircis.

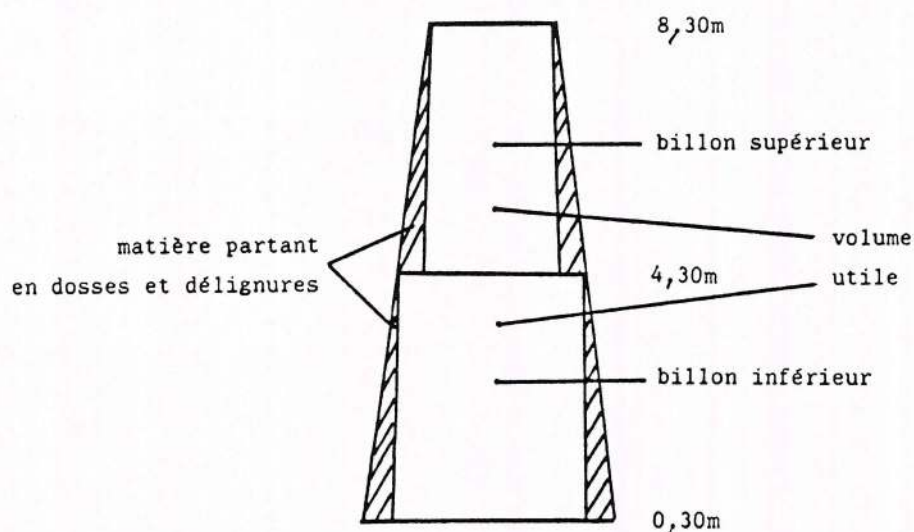


Figure 6. Calcul du volume utile de la bille de pied (d'après PARDE, 1968).
Calculation of the useable volume of the butt log (after PARDE, 1968).

TABLEAU VI
INDIVIDU MOYEN, TÉMOIN ET ÉCLAIRCI
Différences observées : en m³ et % du volume de l'arbre-témoin

	Billon inférieur (m ³)		Billon supérieur (m ³)		Bille de pied (m ³)	
	S	D	S	D	S	D
Parcelle A (1)	0,074	0,116	0,060	0,095	0,134	0,211
Parcelle H (2)	0,134	0,211	0,103	0,163	0,237	0,374
Différence (2)-(1)	0,060/81,5*	0,095/81,5*	0,043/71,7*	0,68/71,7*	0,103/77,0*	0,163/77,0*

Bille de pied = Billon inférieur + Billon supérieur.

S = Sciage. D = Déroulage.

* Par construction les différences (en %) sont égales pour sciage et déroulage.

Le faible impact des éclaircies sur la forme du tronc apparaît bien de nouveau.

Remarque :

Pour pouvoir juger de l'impact réel des éclaircies sur la production en volume utile, on devrait faire un bilan à l'échelle des peuplements :

- pour les parcelles H, il faudrait estimer le volume des tiges abattues lors des éclaircies précédentes mais l'établissement des équations de profil correspondantes n'a pas été possible faute des mesures nécessaires ;
- pour les parcelles-témoins, il faudrait établir des équations de profil pour les tiges dominées. A ce propos, on

peut supposer que, pour un nombre important d'entre elles, leurs dimensions réduites entraînent un rapport (volume tronc/volume total) et donc (volume utile/volume total) très faible (RIOU-NIVERT, 1981). Il faudrait aussi tenir compte qu'une partie de la production ligneuse est constituée de tiges mortes/pourries et donc non valorisables.

• Interprétation des résultats

Nous allons tenter d'expliquer pourquoi les éclaircies n'affectent que faiblement la forme des troncs des arbres étudiés.

Rappels sur la loi de Pressler

PRESSLER (1864) avance que l'accroissement en surface terrière de la tige, à un niveau donné, est proportionnel à la masse foliaire située au-dessus. Ceci implique qu'en dessous du houppier, l'accroissement en surface terrière est le même sur l'ensemble de la tige et qu'à l'intérieur du houppier il diminue plus ou moins linéairement de la base du houppier jusqu'au bourgeon terminal.

Dans notre cas, la loi de Pressler peut être admise en première approximation, exception faite des niveaux 0,30 m et 1,30 m où un empattement est observé (BOUILLET, 1993).

Le houppier se comprend comme participant d'une manière prépondérante à la croissance de l'arbre. A Madagascar, *Pinus kesiya* en peuplement se caractérise par une longueur réduite de houppier utile (HU) : entre 4 et 8 m à partir du bourgeon terminal (BOUILLET, 1993).

Relation forme des arbres/éclaircies

La base du houppier utile est située plus bas pour les arbres éclaircis (HUe) que pour les témoins (HUt). Le tronc des individus éclaircis va donc présenter un défilement plus élevé sous HUt (cf. fig. 7). Mais dans le cas de *Pinus kesiya*, dans la région du Mangoro, le houppier utile a une longueur réduite même pour des arbres

éclaircis. La limite précédente se situe donc rapidement à un niveau élevé le long de la tige si bien que la forme de la bille de pied, et plus généralement celle d'une partie importante du tronc, n'est alors que peu affectée par les interventions pratiquées.

Ceci est d'autant plus vrai que la loi de Pressler implique que sous HU le défilement, pour une valeur initiale donnée, diminue d'autant plus que le taux d'accroissement radial est grand (BOUILLET, 1994). Des travaux en cours montrent que ce taux est ici plus important pour les arbres éclaircis : une diminution plus forte du défilement du tronc y est observée. En fait, la meilleure forme de la bille de pied des arbres-témoins est due au défilement initial plus faible lié à la remontée plus rapide de la base du houppier efficace.

RAPPEL DES RÉSULTATS CONCLUSION

Nous pouvons dégager les points suivants :

- Les équations de profil en long à exposant variable établies ont permis de rendre compte correctement de la forme du tronc de *Pinus kesiya*. Cependant, nous ne pouvons préjuger de la qualité de l'ajustement pour la

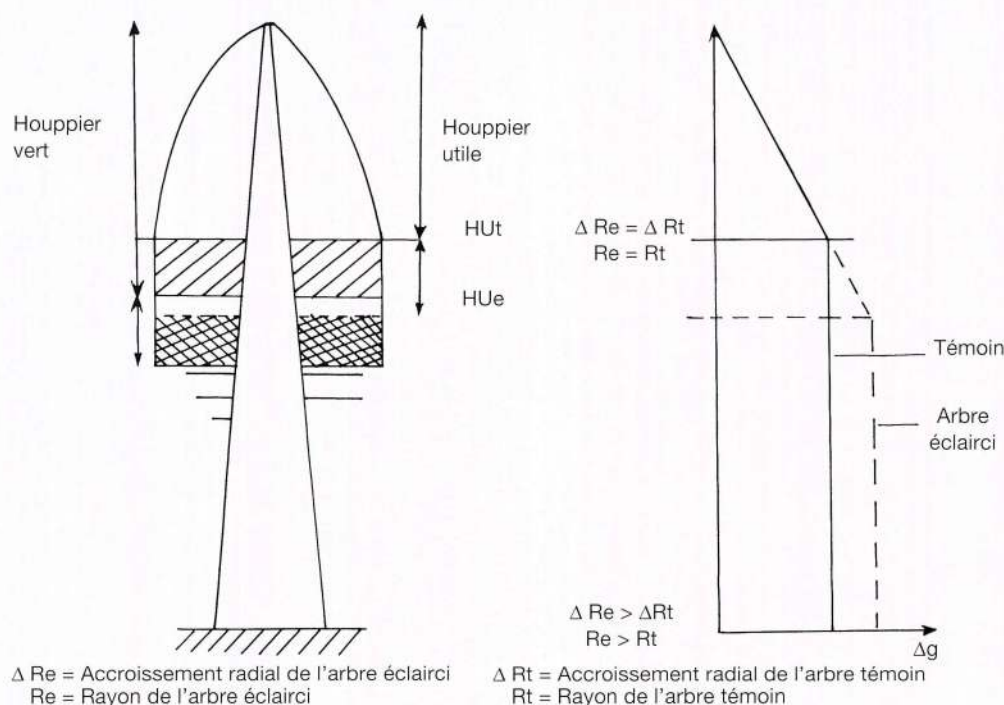


Figure 7. Croissance en surface terrière de la tige en fonction de la position de la base du houppier utile conformément à la loi de Pressler. Impact sur le défilement du tronc d'arbre-témoin et éclairci.
Growth in the basal area of the stem according to the position of the base of the useable crown in accordance with Pressler's Law. Impact on the taper of the trunk of a control tree and a thinned tree.

partie sommitale, celle-ci n'ayant pas été échantillonnée.

- Les tiges plantées à forte densité et non éclaircies ont, au-dessus de l'empatement, une forme meilleure que celle des arbres éclaircis précocement et de manière répétée. Cependant, **à dimensions égales, le volume individuel du tronc des arbres éclaircis n'est que légèrement plus faible** (entre - 2 et - 11 %) : le gain très important en volume individuel induit par les éclaircies (à 20 ans, + 85 à + 100 % sur le volume réel) se traduit, dans des proportions peu différentes, en production unitaire de bois d'œuvre, comme le montre par exemple le gain en volume utile sur la bille de pied (+ 70 à + 80 %).
- Le résultat précédent s'explique par la longueur limitée du houppier utile de *Pinus kesiya* dans les conditions du Mangoro. Une longueur importante du tronc est située rapidement sous ce houppier et sa forme n'est donc que peu affectée par les éclaircies pratiquées.

Ces premiers travaux ont donc montré que des éclaircies rapprochées, celles du CCT Plots par exemple, n'induisent pas une détérioration de la forme en long du tronc. Ils sont actuellement poursuivis sur des échantillons plus importants afin d'établir des équations de profil en long applicables au cubage des peuplements gérés par la FANALAMANGA.

► Jean-Pierre BOUILLET
U.R.P.P.I.
B.P. 1291
POINTE-NOIRE
(Congo)

► Marcel LEFEVRE
Mission CIRAD-Forêt
B.P. 745
ANTANANARIVO
(Madagascar)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BOUILLET J.-P., 1991.

Première éclaircie dans le peuplement de *Pinus kesiya* de la FANALAMANGA : nécessité d'une sylviculture dynamique. Actes du X^e Congrès Forestier Mondial, tome 5, p. 172-178.

BOUILLET J.-P., 1992.

Résumé succinct des principaux résultats. Essais Mangoro Eclaircies-Elagage-Fertilisation : n° 53, 53 bis, 54, 55, 56, 57, 58, 60, 60 bis, 64, 66, 77. Note D.R.F.P./FOFIFA n° 670, 39 p.

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). Thèse en sciences forestières. Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts, 247 p.

BOUILLET J.-P., ANDRIANIRINA G., 1989.

Principaux résultats des recherches sylvicoles sur *Pinus kesiya* et *Pinus patula* à Madagascar. Note D.R.F.P./FOFIFA n° 608, 45 p.

BOUILLET J.-P., DHOTE J. F., 1994.

Improvement by clearing of trunk taper under efficient crown in connection with the Pressler law. Example of *Pinus kesiya* in Madagascar I.U.F.R.O. working party S.5.01.04, workshop

« Connection between silviculture and wood quality through approaches and simulation softwares », 13-17, juin, Hook, 1 p.

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

Essai Mangoro n° 60. Première éclaircie sur *Pinus kesiya* âgés de 9 et 10 ans. Note D.R.F.P./FOFIFA n° 635, 61 p.

BURKHART H., WALTON S. B., 1985.

Incorporating crown ratio into taper equations for loblolly pine trees. Forest Science, vol. 31, p. 478-484.

CAILLIEZ F., 1980.

Estimation des volumes et accroissement des peuplements forestiers, vol. 1, Estimation des volumes. Rome, Food and Agriculture Organization (F.A.O.), Etude Forêts n° 22/1, 99 p.

DE CHAMPS, 1990.

Conduite intensive des peuplements de Douglas. De la forêt cultivée à l'industrie de demain, tome II, Actes du troisième colloque « Science et Industrie du bois », 14-15 mai, Bordeaux, p. 505-515.

DELORD J. M., 1984.

Le profil des tiges. Cahiers techniques de l'Inventaire Forestier National, Revue Forestière française, vol. 36, n° 6, p. 505-514.

- DEMAERSCHALK J. P., KOZAK A., 1977.
The whole bole system : a conditioned dual equation system for pre-cision prediction of tree profiles. *Can. J. For. Res.*, vol. 7, p. 488-497.
- D.R.F.P./FOFIFA, 1985.
Recherches d'appui à la société FANALAMANGA, convention 1982-1985, rapport final. Note D.R.F.P./FOFIFA n° 541, 93 p.
- D.R.F.P./FOFIFA, 1987.
Rapport final FANALAMANGA, convention n° 81/85-86. Note D.R.F.P./FOFIFA n° 574, 69 p.
- FARRAR R. M. Jr., 1987.
Stem profile functions for predicting multiple product volumes in natural longleaf pines. *Southern Journal of Applied Forestry*, vol. 11, n° 3, p. 161-167.
- GORDON A., GRAHAM J. D., 1986.
Changes in *Pinus radiata* stem form in response to nitrogen and phosphorus fertiliser. *New Zealand Journal of Forestry Science*, vol. 16, n° 1, p. 41-54.
- GUINAUDEAU, F., 1991.
Etude de l'effet des éclaircies sur la conicité des arbres. *AFOCEL BIOM* Etude 66, 3 p.
- KOZAK A., 1988.
A variable exponent taper equation. *Can. J. For. Res.*, vol. 18, p. 1363-1368.
- KOZAK A., MUNRO D. D., SMITH J. H. G., 1969.
Taper functions and their application in forest inventory. *For. chron.*, vol. 45, p. 278-283.
- LIU C. J., KEISTER J. D., 1977.
Southern pine form defined through principal components analysis. *Can. J. For. Res.*, vol. 8, p. 188-197.
- LOUPPE D., LEFEVRE M., 1986.
Essai d'éclaircies sur *Pinus kesiya*. Installation et premiers résultats. Essai 53, Ambohibary. Note D.R.F.P./FOFIFA, n° 553, 38 p.
- LOWELL K. E., 1986.
A flexible polynomial taper equation and its suitability for estimating stem profiles and volumes of fertilized and unfertilized *Radiata* Pine trees. *Austr. For. Res.*, vol. 16, p. 165-174.
- MAX T. A., BURKHART H. E., 1976.
Segmented polynomial regression applied to taper equations. *Forest Science*, vol. 22, p. 283-289.
- M'HIRIT O., POSTAIRE J. G., 1983.
Analyse de la forme des tiges du Cèdre du Maroc. Application à la détermination des courbes de profil. *Annales des Sciences Forestières*, vol. 40, n° 4, p. 355-372.
- MORRIS D. M., BAULING C., HILLS S. C., 1994.
Growth and form responses to pre-commercial thinning regimes in aerially seeded Jack Pine stands. 5th year results. *Forestry chronicle* 70 (6) p. 780-787.
- NEWNHAM R. M., 1988.
Mesure du défilement de forme variable. Institut forestier national de Patawawa, Rapport d'information, PI-X-83F, 25 p.
- NEWNHAM R. M., 1992.
Variable-form taper functions for four Alberta tree species. *Can. J. For. Res.*, vol. 22, p. 210-223.
- OLISCHLÄGER K., 1970.
Untersuchungen über den Wertzuwachs von Fichten nach Ästungen. Göttingen : Georg. August Universität, Bamberg, Rodenbusch, 130 p.
- PARDE J., BOUCHON J., 1988.
Dendrométrie, rééd., Nancy, ENGREF, 328 p.
- PEREZ D.N., BURKHART H.E., STIFF C.T., 1990.
A variable-form taper function for *Pinus oocarpa* Schiede in Central Honduras. *Forest Science*, vol. 36, n° 1, p. 186-191.
- PORQUET J.M., 1990.
Etude morphologique du pin maritime pour une mécanisation du deuxième élagage. In : De la forêt cultivée à l'industrie de demain, Actes du troisième colloque Sciences et Industries du Bois, 14 et 15 mai, Bordeaux, p. 569.
- PRESSLER M.R., 1864.
Das Gesetz der Stammbildung. Leipzig : Arnoldische buchhandlung, 153 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 D.E.A. en Sci. Biol. Appl. Opt. Ecol. Végét. et Forest.
- RIOU-NIVERT Ph., 1981.
Plantations à très grands écartements : collecte de références pour l'établissement de nouveaux modèles de sylviculture. Etude bibliographique et enquête de terrain. Paris, Institut pour le Développement Forestier, 284 p.
- TOMASSONE R., LESQUOY E., MILLIER C., 1983.
La régression. Nouveaux regards sur une ancienne méthode statistique. *Actualités Scientifiques et Agronomiques de l'INRA*, n° 13, Masson, 180 p.
- THOMSON A. J., BARCLAY H. J., 1984.
Effects of thinning and urea fertilization on the distribution of area increment along the boles of Douglas fir at Shawnigan lake, British Columbia. *Can. J. For. Res.*, vol. 14, p. 879-884.

R É S U M É

INFLUENCE DES ÉCLAIRCIES SUR LA FORME DU TRONC DE *PINUS KESIYA*

Pour pouvoir juger du bien-fondé des éclaircies fortes et précoces pratiquées sur *Pinus kesiya* à la FANALAMANGA (Société de reboisement du Mangoro), il faut connaître en particulier l'impact de ces interventions sur la forme en long du tronc. Pour ce faire, des équations de profil en long à exposant variable ont été établies pour des tiges de vingt ans appartenant à un CCT Plots : 30 individus-témoins, A, jamais éclaircis et ayant toujours poussé à forte densité (2 000 tiges/ha) et 28, H, éclaircis six fois (200 tiges/ha). Les équations de profil en long ont permis de rendre compte correctement de la forme du tronc (jusqu'à un diamètre fin bout de 15 cm sur écorce).

Mots-clés : Eclaircies forestière. Port de la plante. Tige. *Pinus kesiya*. Madagascar.

A B S T R A C T

INFLUENCE OF THINNINGS ON THE PROFILE OF THE TRUNK OF *PINUS KESIYA*

In order to assess the validity of intensive and early thinnings carried out on *Pinus kesiya* at the FANALAMANGA (Mangoro Reforestation Company), there must be specific knowledge of the impact of these operations on the shape of the trunk. To this end, taper equations with a variable exponent have been formulated for 20-year trunks in CCT Plots : 30 control trees, A, never thinned, planted at high density growth (2,000 stems/hectare) and 28 trees, H, thinned six times (200 remaining stems/hectare).

The taper equations have made it possible to assess correctly the form of the trunk (up to a 15 cm top end over bark diameter).

Key words : Thinning. Plant habit. Stem. *Pinus kesiya*. Madagascar.

R E S U M E N

INFLUENCIA DE LAS CORTAS DE ACLAREO SOBRE LA FORMA DEL TRONCO DE *PINUS KESIYA*

Para poder apreciar el perfecto fundamento de las cortas de aclareo importantes y precoces practicadas en los *Pinus kesiya* por parte de la FANALAMANGA (Sociedad de Repoblación Forestal del Mangoro), es preciso conocer, en particular, el impacto que tienen estas intervenciones con respecto a la forma del tronco. Para ello, se han establecido ecuaciones de perfil longitudinal con exponente variable para troncos de veinte años pertenecientes a un CCT Plots : 30 árboles testigo A nunca objeto de aclareos y que se han desarrollado siempre con fuerte densidad (2 000 troncos por hectárea) y 28 H aclareados seis veces (200 troncos por hectárea).

Las ecuaciones de perfil longitudinal han permitido darse cuenta perfectamente de la forma del tronco (hasta un diámetro en el extremo de 15 cm, con corteza).

Términos clave : Aclareo forestal. Hábitos de crecimiento. Tronco. *Pinus kesiya*. Madagascar.

SYNOPSIS

INFLUENCE OF THINNINGS ON THE PROFILE OF THE TRUNK OF *PINUS KESIYA*

JEAN-PIERRE BOUILLET, MARCEL LEFEVRE

OBJECTIVE AND METHOD

Background

Since 1970, FANALAMANGA has established 70,000 hectares of tropical pines, including 50,000 ha of *Pinus kesiya*, initially earmarked for pulp production. In 1984, the priority shifted to the production of timber, which, in turn, caused research programmes to recommend heavy and early thinnings. But for any assessment of the merits of these operations, knowledge of their impact on the stem profile must, in particular, be available.

Description of the stem profile

Taper equations help to estimate both the height for any kind of felling and the radius of the stem at any given height. Use of a variable form taper model was preferred over more traditional polynomial models. This model takes into account the continuous development of the form of the stem at different heights, and offers more accurate and less biased estimates of stem radii.

The equation used is :

$r/R = [(H-h)/(H-1.30)]^{[P_1 + P_2 \exp(-[P_3/P_2](h/H))]}$
with : R = radius under bark at 1.30 m ;
r = radius under bark at height h ; H =

total height. P_1 , P_2 and P_3 , parameters to be estimated.

DATA

Sample

Comparisons were made of 20-year-old stem tapers using trees in CCT Plots established on plateaus with good fertility. The sample consisted of 28 trees planted at 2 000 stems/ha, and never thinned (density at harvest : 1 950 stems/ha), and 30 trees thinned six times (density : 200 stems/ha).

Section heights

Sections were taken at 0.30 m ; 1.30 m ; 2.30 m ; 3.30 m ; 4.30 m ; 5.30 m and then every two metres up to a top end 15 cm diameter over bark, taken as the trunk limit. The diameters were calculated on the basis of 16 equally distributed radii.

RESULTS

Taper equations

With the taper equations formulated, it was possible to take the form of the trunk properly into account, r/R being estimated at 2.6 and 3.5 %. The two models,

adjusted, gave significantly different stem forms. Above the butt, the thinned trees showed a more marked taper.

Useable volume

• Trees with the same dimensions

With the same dimensions, the volume of the thinned tree is only slightly smaller : - 4.4 % for the butt log up to 8.30 m, and - 11.6 % for the whole trunk. Thinnings thus give rise to no more than limited damage to the trunk profile.

• Useable volume of the butt log

The above finding is clearly shown by the fact that the very noticeable increase in individual volume caused by thinnings (+ 84 % for the butt log up to 8.30 m, and + 99 % for the whole trunk) is almost wholly reflected in the useable timber volume (+ 77 % for the butt log).

Discussion

The low impact of thinnings on stem taper can be explained by the limited length of the actual crown of *Pinus kesiya* in Mangoro conditions. A significant bole length is located before long under this crown, so the form of the trunk is only slightly affected by the thinnings carried out.