

UN MODÈLE DE CROISSANCE POUR DES PLANTATIONS FORESTIÈRES EN MILIEU TROPICAL

par P. SARLIN,

*Chef de la Division de Pédologie
du Centre Technique Forestier Tropical.*



Photo Sarlin.

« En surchargeant les futaies on produit plus d'arbres
et moins de bois »

VARENNE DE FENILLE, 1790

Plantation de Teck à KITA (Mali), âgée de 11 ans.

SUMMARY

A GROWTH MODEL FOR TROPICAL FOREST PLANTATIONS

The author studies the growth of a pure, regular, theoretical plantation whose annual growth or age-ringing is assumed to remain constant, the surface area reaching 15 square metres per hectare at the time of the first thinning, and 30 square metres per hectare at subsequent thinnings, and the effective height of the bole being a uniform 10 metres for fully-grown trees.

Annual growths of 1 to 25 millimetres, and densities of 60 to 3,000, are envisaged.

A study of the model makes it possible to deduce the timber production of the plantation, the times of thinning, and the economy of the operation in the light of capital outlay, rate of interest, and the cost of producing the standing timber.

The model is then used to interpret the results of real plantations and to detect anomalies.

It may be utilized in the form in which it is presented, or adjusted to the special conditions of a species or of a locality.

RESUMEN

UN MODELO DE CRECIMIENTO PARA LAS PLANTACIONES FORESTALES EN MEDIO TROPICAL

El autor estudia el crecimiento de una plantación pura y regular teórica, cuyo crecimiento anual conservase un valor constante, alcanzando la superficie terrera 15 metros cuadrados por hectárea en el momento del primer corte de aclareo, y 30 m²/ha durante los cortes de aclareo siguientes, siendo de 10 metros la altura útil — en estado adulto — del fuste central del árbol.

Se tienen en cuenta crecimientos anuales de 1 a 25 milímetros, así como densidades de 60 a 3.000.

Del estudio del modelo se deducen las producciones de madera de la plantación, las épocas de los cortes de aclareo y la economía de la operación, teniéndose en cuenta debidamente las inversiones, el tipo de interés y el precio de la madera en pie. Este modelo se utiliza acto seguido para interpretar los resultados de plantaciones reales y poner de manifiesto las anomalías. El modelo puede ser utilizado en el estado que presenta inicialmente o bien, puede ser ajustado a las condiciones particulares de una especie o de una estación.

NÉCESSITÉ D'UN MODÈLE

L'étude pédologique d'une station destinée à des plantations forestières conduit à des conclusions d'autant plus sûres que les conditions étudiées peuvent être comparées aux résultats, même sporadiques, d'une plantation établie dans cette station.

Malheureusement la plantation elle-même n'est pas toujours une référence et les causes de perturbation telles que : concurrence de la végétation parasite, insuffisance ou manque d'entretien, densité

trop faible, éclaircies différées, déprédations diverses, font qu'il est difficile de savoir si la plantation observée représente vraiment le potentiel maximum de la station ou seulement une partie de celui-ci.

Le fait brut maintes fois observé est l'existence dans les plants encore jeunes, d'un accroissement sur le rayon, d'une épaisseur sensiblement constante pendant les premières années, cet accroissement diminuant ensuite pour des raisons qu'il n'est pas toujours possible de reconstituer.

LE MODÈLE DE CROISSANCE

Le modèle de croissance est une hypothèse de travail dans laquelle des arbres théoriques font partie d'un peuplement théorique dont on observe le développement.

La croissance du modèle est géométrique, donc simple. Le rayon de l'arbre théorique est la cumulation des accroissements a ; la surface terrière et le volume se déduisent simplement du rayon, donc de a .

ÉLÉMENTS DU MODÈLE

ACCROISSEMENTS

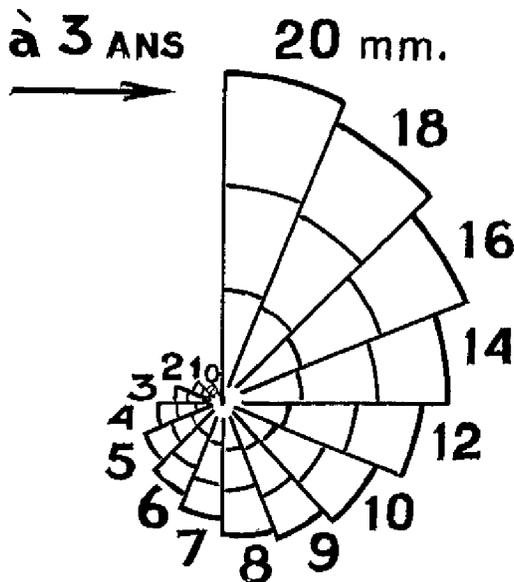


FIG. 1. — Secteurs de l'âge de 3 ans. Les accroissements varient de 0 à 20 mm.

Le modèle est étudié de 0 à 100 ans, exceptionnellement au-delà.

Par définition, la croissance est exempte de concurrence, la plantation est pure et les éclaircies exécutées à temps.

Le modèle comporte les éléments suivants :

L'accroissement du Modèle (figure 1).

L'accroissement annuel, a , du rayon, R , est constant, et l'on admet par hypothèse l'égalité :

$$a_1 = a_2 = \dots = a_n = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n} = \frac{R}{n}$$

dans laquelle

a_1 = accroissement 1^{re} année.

a_2 = accroissement 2^e année.

a_n = accroissement n^e année.

La valeur de a est fonction de l'espèce, de la station et de la conduite du peuplement.

Dans le modèle, « a » est exprimé en millimètres et peut prendre les valeurs entières suivantes :

1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 11 - 12 - 14 - 16 - 18 - 20 - 25 mm,

une intrapolation étant possible par demi-millimètres jusqu'à 10, et par millimètres de 10 à 20 mm.

TABLEAU 1

Age, Accroissement et Surface terrière à l'ha dans quelques plantations de Teck

Plantation de Teck Désignation, Situation	Age années	Accroissements mm		Surface terrière m ² /ha
		Initial	Moyen	
Tchamba T22 de 1933, Togo (rejets)	2	5	5	3
Game, Togo	3	5	5	7,5
Matiemba, Côte-d'Ivoire	3	10	10	6
Daloa, Côte-d'Ivoire	3	15	15	18
Dantcho, Togo	3,5	6	6	7,5
Amoutchou 27, Togo	4	8	8	8
Aleheride, Togo	4	4,5	4,5	9
Sotubua 1952, Togo	5	7	7	11
Tsagba 47 bis, Togo	5	6	5,5	14,5
Solle, Cameroun	5	13	13	12
Solle, Cameroun	5	15	15	18
Bamako, Mali	5	8	6	15
Chra 51, Togo (sur savane)	6	5	5	8
Chra 51, Togo (sur culture)	6	7,5	7,5	12
Sirakoro, près Kita, Mali	6	7	7	11
La Faya, Mali	6	10	7	12
Sotubua 51, Togo	6	8	8	15
Sangouine, près Man Côte-d'Ivoire	7	10	8	17
Djibolor, Casamance, Sénégal	8	—	8	15
Les Bayottes, Casamance, Sénégal	8	—	8	18
Koin près Man, Côte-d'Ivoire	8	8	7	16
Biguona, Casamance, Sénégal	10	—	7	15
Kita, Mali	11	6	6	14
Chra n° 30, Togo	12	7	6	20
Agddjrolo 15, Togo	15	7	5	29
Yaokope, Togo	15	—	6	28,5
Nyamassila n° 13, Togo	16	—	4	19
Glei, Togo	17	6	5	23
Kassena, T29, Togo	17	7	3	22,5
Dandassa, Togo	20	—	3	22
Bidjenga 34, Togo	23	—	3	24
Asrama 49, Togo	23	—	4	36
Atakpame n° 6, Togo	24	5	3,3	23
Atioghokope, Togo	24	—	4	25
Bandjeli, Togo	24	—	3,3	23
Pagalà gare, Togo	24	8	3	17
Tchamba, Togo	24	8	4	22,5
Blitta village, Togo	25	—	5	26
Kassena T27, Togo	25	—	4	33
Yare Yare Cotocoh, Togo	25	5	3,5	20
Guerin Kouka, T6, Togo	27	—	4	36
Amakpave 61, Togo	29	—	6	36
Sokode, Togo	35	—	2,5	26

Dans la réalité, des accroissements de l'ordre de 1 mm existent, ceux de 5 à 10 mm sont les plus fréquents dans les stations convenant à l'espèce utilisée ; des valeurs égales ou supérieures à 20 mm sont connues chez certains Eucalyptus, Limba, Framiré et Teck. La valeur de 25 mm semble être un maximum assez exceptionnel.

La première éclaircie est prévue lorsque la surface terrière atteint la valeur de 15 m² à l'hectare, ce chiffre étant déduit de nombreuses observations sur le terrain (cf tableau n° 1).

La Densité de Plantation.

La densité de plantation, ou nombre de plants à l'hectare, est en principe de 2.000 à l'hectare, comme cela se pratique pour le Teck et les plantations serriées, qui ont 2.500 emplacements provenant d'un espacement de 2 × 2 m, et 20 % de manquants ou de sujets éliminés naturellement au moment de la première éclaircie.

D'autres densités sont également envisagées (cf tableau n° 2).

TABLEAU 2

Espacement initial	1,50 × 2,00	2,00 × 2,00	3,00 × 3,00	4,00 × 4,00	6,00 × 6,00	8,00 × 8,00	12,00 × 12,00
Nombre d'emplacements	3.300	2.500	1.100	625	280	156	70
Nombre de plants restants	3.000	2.000	1.000	500	250	125	62

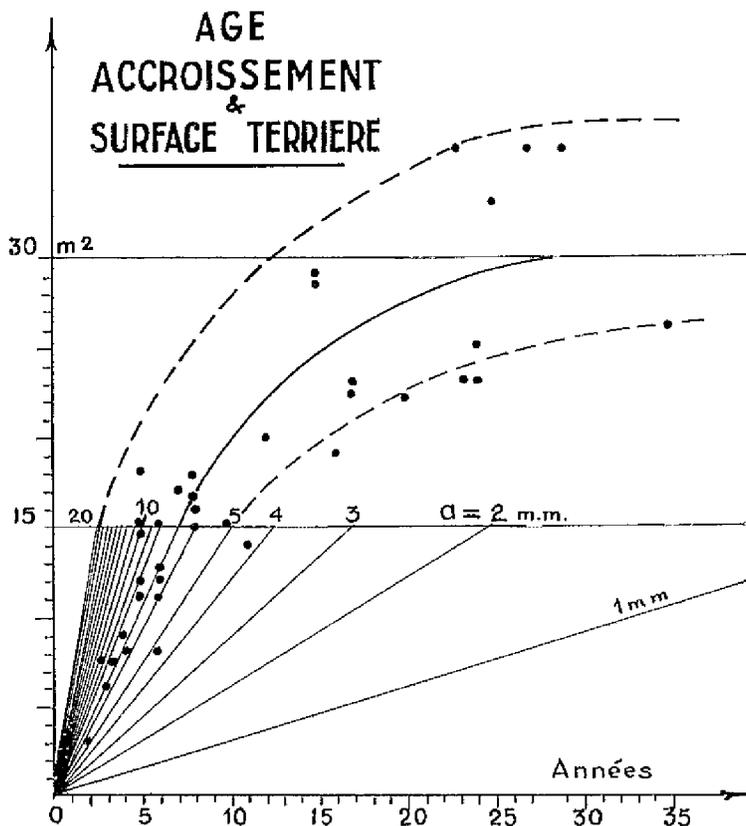


FIG. 2

Surface terrière du Modèle.

Le modèle est supposé croître librement, avant intervention de la concurrence intra-spécifique, et sans concurrence extra-spécifique (*), jusqu'à 15 m² de surface terrière à l'hectare.

Cela signifie que l'on admet deux choses :

1° Au début les plants ne se gênent pas entre eux la concurrence n'intervenant que pour le diamètre 10 cm, pour une densité 2.000 ; (et un diamètre plus fort pour des densités inférieures).

2° Les plants ne rencontrent aucune concurrence de la part des graminées ou d'autres espèces laissées sur place ou plantées en mélange.

Dans ces conditions, le tableau n° 1 et la figure 2 représentant les âges, accroissements et surfaces terrières de quelques plantations de Teck, nous fournissent les indications suivantes :

Jusqu'à 10-11 ans, pendant en moyenne 5 ans $\frac{1}{2}$: l'accroissement moyen est sensiblement égal à l'ac-

(*) La concurrence intra-spécifique est celle qui oppose dans une plantation d'Eucalyptus, un Eucalyptus à un autre Eucalyptus.

La concurrence extra-spécifique est celle qui oppose cet Eucalyptus à un végétal étranger différent d'un Eucalyptus de la plantation.

croissement initial (7,5 au lieu de 8 mm). Ce résultat est très important.

D'autre part la surface terrière ne dépasse pas alors 18 m² à l'hectare, d'où le choix de 15 m² pour l'éclaircie. Cette surface de 15 m² est d'ailleurs atteinte à des âges variés : de moins de 3 ans à plus de 10 ans, selon la valeur de l'accroissement.

Par la suite les accroissements, de 7 mm au début ne sont que de 4 en moyenne, ce qui s'explique par une réduction de 3 mm pendant une longue période.

On peut évaluer ainsi l'accroissement moyen total :

6 années à 7 mm ; 16 années à 3 mm = 22 années à 4 mm de moyenne.

Ce résultat est déduit des analyses de tige.

Comme on peut le voir d'après le tableau n° 1, les surfaces terrières augmentent avec l'âge et peuvent atteindre 36 m². Nous limitons arbitrairement le modèle à 30 m² à l'hectare.

Les exemples cités et quelques autres nous ont conduit à étudier le modèle dans le cadre suivant :

- Densité au départ : de 62 plants à l'hectare (plantation à 12 x 12 m) à 3.000 plants à l'hectare (plantation à 1,50 par 2 m).

- Accroissement du rayon de 1 à 25 mm ceci jusqu'à une surface terrière de 15 m² à l'hectare à la première éclaircie.

Par la suite, cette surface terrière, par convention ne devra pas dépasser un chiffre de 30 m².

Il sera nécessaire de distinguer deux périodes dans l'étude du modèle :

- période comprise entre la plantation et la première éclaircie,
- période postérieure à la première éclaircie.

Le volume du Modèle.

Dans le cas d'une plantation contenant 2.000 pieds pour une surface terrière de 15 m²/ha le diamètre moyen d'un sujet est « d », tel que :

$$2.000 \times \frac{\pi}{4} \times d^2 = 1.500 \text{ dm}^2$$

Le diamètre est alors sensiblement de 10 cm.

Nous admettons que dans ces conditions le tronc atteint (figure 3) une longueur de 10 m, le coefficient de forme étant égal à $\frac{2}{3}$. Le volume à l'hectare est alors :

$$15 \text{ m}^2 \times 10 \text{ m} \times \frac{2}{3} = 100 \text{ m}^3/\text{ha}.$$

Ce volume est atteint lorsque le diamètre est de 100 mm, au bout d'un nombre d'années

$$\frac{100}{2a}$$

qui représente le temps qui s'écoule entre la plantation et la première éclaircie.

La production moyenne en mètres cubes par hectare et par an est le quotient du volume obtenu, 100 m³, par le nombre d'années $\frac{100}{2a}$, soit :

$$\frac{100}{\frac{100}{2a}} = 2a \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$$

Dans ces conditions, choisies à dessein pour avoir des résultats simples, l'accroissement du diamètre, en millimètres, et le rendement en bois fort, en mètres cubes par hectare et par an, s'expriment par le même chiffre.

Cette règle est encore valable pour des densités de plantations différentes de 2.000 à condition :

— de majorer de 10 % la production pour une densité de 3.000,

— de la réduire de 10 % pour une densité de 1.000 et sensiblement plus pour les densités encore plus faibles.

TECK MOYEN

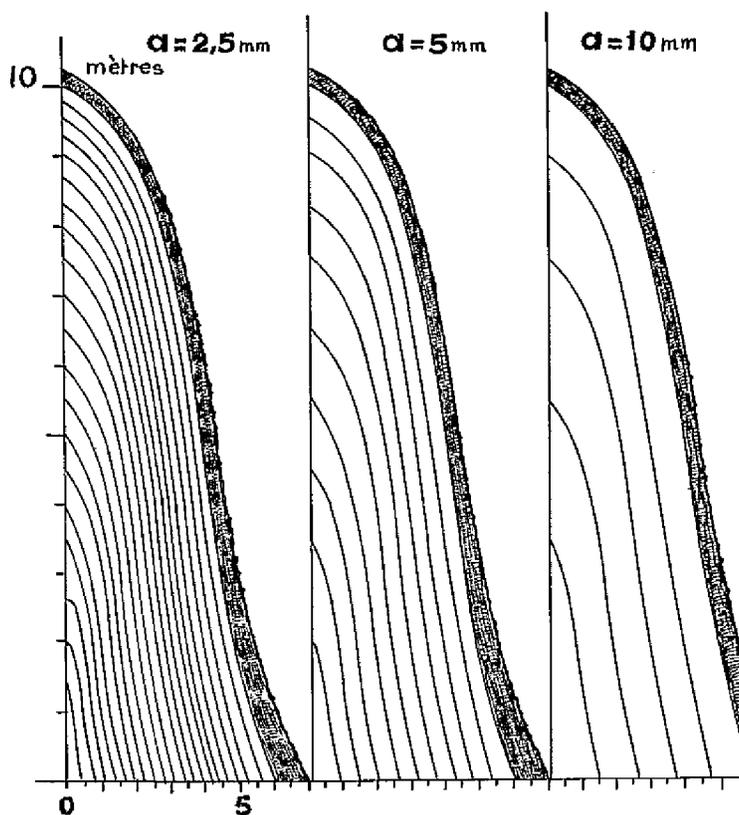


FIG. 3. — Analyse de tige du modèle, le diamètre étant 10 cm, les accroissements étant de 2,5-5 et 10 mm, les âges 20-10 et 5 ans, respectivement, la hauteur étant de 10 m uniformément.

PÉRIODE COMPRISE ENTRE LA PLANTATION ET LA PREMIÈRE ÉCLAIRCIE (cf tableau 3 et fig. 4).

Pour que la plantation atteigne lors de la première éclaircie une surface terrière de 15 m² à l'hectare, correspondant à une couverture convenable du sol, il faudra, suivant le cas, quelques années ou plus d'un siècle, mais il ne paraît pas rationnel d'envisager des périodes supérieures à 10 ans.

La place vide créée au moment de la plantation sera occupée par les plants d'autant plus facilement que la période nécessaire pour atteindre 15 m² de surface terrière sera courte.

Dans le cas contraire cette période sera mise à profit par les recrûs, rejets, semis et lianes de toutes sortes et les plants trouveront leur espace vital occupé.

On peut envisager pour la plantation des dégagements sur quelques années, mais non sur des dizaines d'années. Les accroissements les plus courants se situant entre 5 et 12 mm, les densités les plus favorables *a priori* paraissent comprises entre 1.000

et plus de 2.000 à l'hectare, donc, d'après le tableau, au niveau des plantations serrées.

En examinant les conditions extrêmes on peut penser qu'une espèce, croissant exceptionnellement vite et plantée à plus de 3.000 pieds à l'hectare (on connaît des plantations plus denses), mise en place au début d'une année, devrait être éclaircie l'année suivante (après 2 saisons des pluies).

A l'opposé, une espèce à croissance très lente, telle que le Makoré, mise en place à l'écartement dit définitif de 12 m sur 12 n'atteindrait pas 60 cm à un âge de 2 ou 3 siècles, époque théorique de la première éclaircie.

Nous sommes loin de la période uniforme que l'on semble souvent admettre.

Même pour les accroissements les plus courants, compris entre 5 et 12 mm, l'âge de la première éclaircie est de 4 à 10 ans; ce qui est acceptable lorsque la

PREMIÈRE ÉCLAIRCIE

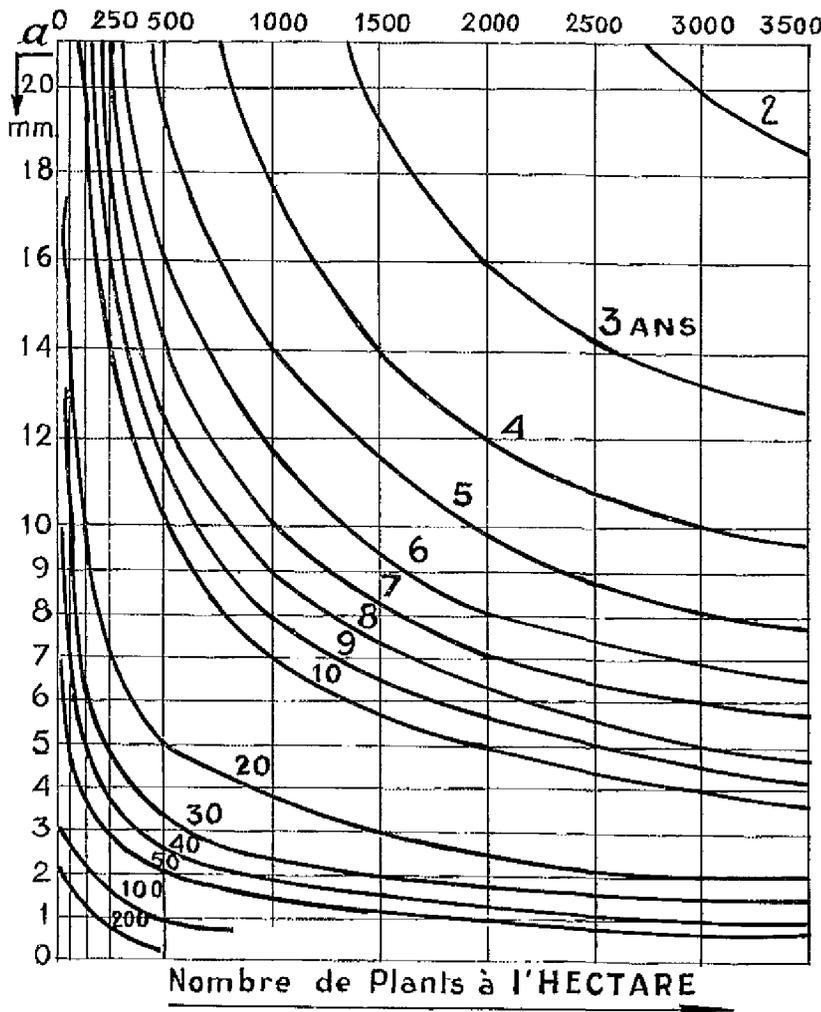


FIG. 4.

densité de plantation est de 2.000 à l'hectare (ordre de grandeur d'une densité souvent pratiquée).

A une densité de 500 seulement on risquerait

d'attendre 20 ans, et à la densité de 250, 30 ans.

La brousse tropicale n'attendrait pas aussi longtemps pour envahir l'espace laissé libre entre les plants, ce qui peut être un danger pour un grand nombre d'espèces.

L'âge de la première éclaircie est donné par la formule :

$$E = \frac{100}{2a} \sqrt{\frac{2.000}{N}} + (1)$$

dans laquelle :

— 100 est le diamètre en mm atteint par le plant à la première éclaircie, lorsque la surface terrière est de 15 m² à l'hectare, pour une densité de 1.000 plants à l'hectare,

— 2 a représente l'accroissement annuel du diamètre.

— $\frac{100}{2a}$ sera l'âge de la plantation à la première éclaircie pour une densité de 2.000 plants à l'hectare.

Pour une densité N différente il faut introduire un coefficient de correction. En effet, si cette densité est inférieure à 2.000 il faudra, pour arriver à une surface terrière de 15 m², atteindre un diamètre D supérieur à 100 mm et vice-versa. Une analyse du tableau 3 montre que le coefficient est égal à :

$$\sqrt{\frac{2.000}{N}}$$

Le chiffre (1) exprime le fait que l'éclaircie n'est pas définie à une année près, mais qu'une attente supérieure serait une erreur.

HÉTÉROGÉNÉITÉ DU MODÈLE

Jusqu'à présent nous avons considéré un modèle homogène : les arbres ont tous le même diamètre, mais les plantations, exécutées dans des conditions en apparence standard, sont en fait très hétérogènes. Il est bien entendu que chaque plantation a sa proportion de manquants, une répartition plus ou moins étalée, une certaine dissymétrie et une variance particulière, évoluant d'ailleurs avec le temps.

La figure 5 montre une répartition caractéristi-

que d'une population de 100 sujets dans laquelle on distingue les classes caractéristiques :

M + = manquants ou morts.

m = sujets dépérissant dans le sous-bois et destinés à disparaître.

BdR = bosse des retardataires, en général sujets dominés.

D = sujets dominants.

E = sujets d'élite.

TABLEAU 3

Période Comprise entre la Plantation et la première éclaircie
 La période pouvant être utilement envisagée doit être inférieure à 10 ans

Espacement	Nombre de plants à l'hectare						
	1,50 × 2,00	2,00 × 2,00	3,00 × 3,00	4,00 × 4,00	6,00 × 6,00	8,00 × 8,00	12,00 × 12,00
Emplacements	3.300	2.500	1.100	625	260	156	70
Nombre de plants	3.000	2.000	1.000	500	250	125	62
Diamètre du plant moyen à l'éclaircie en cm	8	10	14	20	26	40	56
Accroissements a. mm.		Nombre d'années					
1	40	50	70	100	140	200	280
2	20	25	35	50	70	100	140
3	14	17	23	34	46	68	92
4	10	12,5	17,5	25	35	50	70
5	8	10	14	20	28	40	56
6	7	8,5	12	17	24	34	48
7	5,5	7	10	14	20	28	40
8	5	6	9	12	18	24	36
9	4,5	5,5	8	11	16	22	32
10	4	5	7	10	14	20	28
11	3,25	4	6	8	12	16	24
14	2,75	3,5	5	7	10	14	20
16	2,5	3	4,5	6	9	12	18
18	2,25	2,75	4	5,5	8	11	16
20	2	2,5	3,5	5	7	10	14
25	1,6	2	2,8	4	5,5	8	11

Le trait plein figure la répartition réelle, le pointillé la répartition normale.

Le modèle ne peut tenir compte de toutes les variations individuelles. Il est symétrique et la répartition des diamètres, figure 6, est, à peu de chose près, normale, selon la suite :

$$1 + 3 + 6 + 12 + 18 + 20 + 18 + 12 + 6 + 3 + 1 = 100$$

avec une variance telle que les diamètres des sujets extrêmes se répartissent entre 0 et le double de la moyenne (M).

Le tableau n° 4 montre l'hétérogénéité de quelques plantations. Celle du modèle est de 130 % par construction (*).

(*) L'hétérogénéité est définie par le rapport :

$$\frac{\text{Diamètre moyen de la demi population des grands sujets}}{\text{Diamètre moyen de la population totale}} \times 100$$

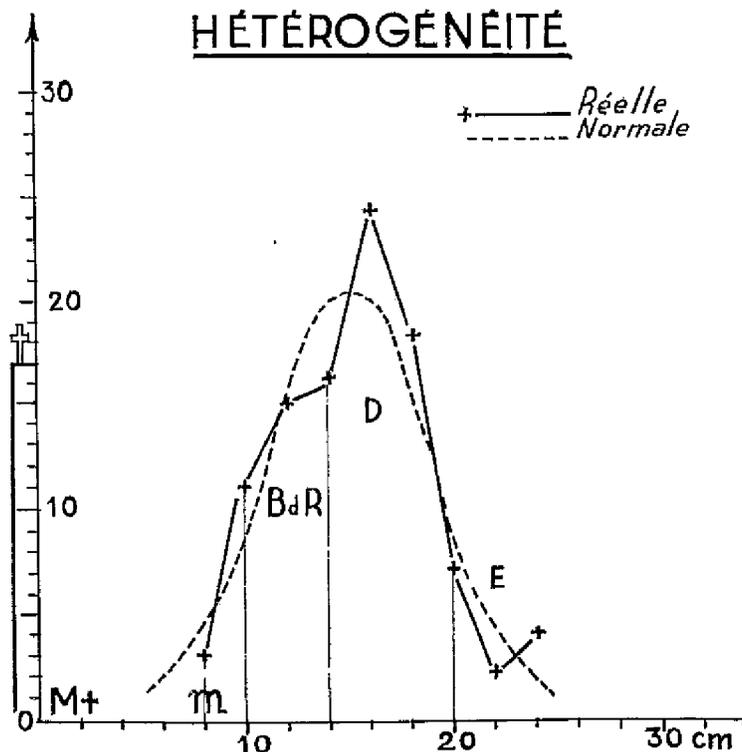


FIG. 5.

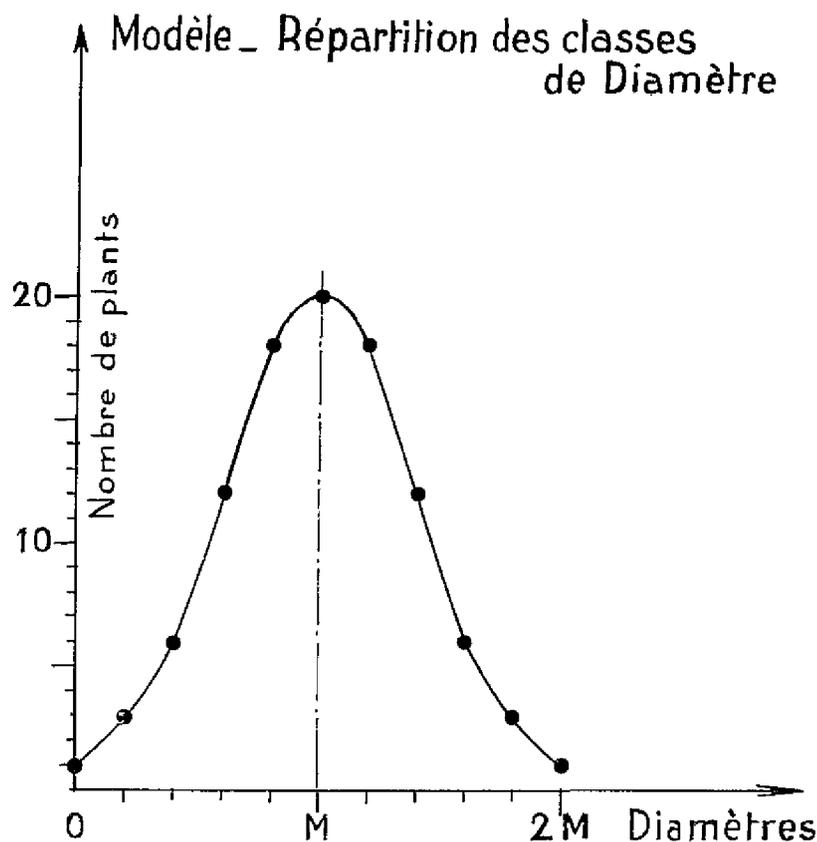


Fig. 6.

Bien entendu il est possible de prendre un modèle dont la répartition, la variance, la forme, seraient différentes, afin par exemple de représenter plus fidèlement

la plantation d'une espèce donnée à un endroit déterminé. Le modèle ayant atteint le diamètre moyen D_m de 10 cm, ses différents éléments sont figurés au tableau n° 5 établi pour un hectare.

Il est intéressant de constater les différences existant entre les deux demi-populations des petits et gros sujets :

— Diamètre : 7 et 13 cm, la moyenne étant 10.

— Surfaces terrières : 4 et 13,5 m², pour un total de 17,5 ; le chiffre de 15 étant dépassé par le fait de la dissymétrie.

— Volumes : 26 et 90 m³ pour un total de 116, le chiffre de 100 étant dépassé pour la même raison (dissymétrie).

Cet exemple théorique mais rationnel montre la perte que fait subir la pratique de l'éclaircie mécanique, qui enlève systématiquement et indifféremment les sujets sans les choisir.

S'il est possible d'éliminer les sujets les plus faibles et de ne conserver que les autres, l'accroissement qui était « a », en moyenne,

devient 1,3 a. Pour passer du diamètre 10 au diamètre 20 il suffira donc des 3/4 du temps qui a été nécessaire pour atteindre le diamètre 10.

TABLEAU 4
Hétérogénéité des plantations
(Gain sur le diamètre après enlèvement de 50 % des petits sujets)

Espèce	Lieu	Age années	Gain %	Référence
Teck	Gonate (Daloa, Côte-d'Ivoire)	3	22	Sarlin
—	Koin (Man, Côte-d'Ivoire)	10	23	C. T. F. T. (CI)
—	Bayolles (Casamance)	8	18	Sarlin
—	Tsagba (Togo)	5	18	—
—	Cltra (Togo)	12	18	—
—	Agodjrolo (Togo)	17	21	—
—	Atakpame (Togo)	20	33	—
—	Bidjenga (Togo)	23	34	—
—	Yaokope (Togo)	5	33	—
Cassia	Ile Boulaye (Côte-d'Ivoire)	15	45	Martinot-Lagarde
Azobé	Tekte (Côte-d'Ivoire)	13	33	—
—	Abobo (Côte-d'Ivoire)	24	60	—
Framiré	Banco (Côte-d'Ivoire)	20	30	—
—	Yapo Nord (Côte-d'Ivoire)	32	20	C. T. F. T. (CI)
Niangon	Comoe (Côte-d'Ivoire)	5	17	—
—	Yapo Sud (CI) Layons	30	32	—
—	Yapo Sud (CI) serré	30	35	—
Okoumé	Comoe (Côte-d'Ivoire)	14	40	—
Eucalyptus	Loudima (Congo)	4	30	Sarlin
Limba	Guena (Congo)	7	25	—
—	BN 5221 (Congo)	9	22	—
—	BN 5122 (Congo)	10	15	—
	Gain moyen		28,36 %	

TABLEAU 5
Situation du modèle
 Quand Dm = 10 cm
 (un hectare)

Diamètres cm	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	Moy. 10
Nombre	20	60	120	240	360	400	360	240	120	60	20	Total 2.000
Partage des diamètres ...	1/2 population 7 cm					/	1/2 population 13 cm					Moy. 10
Surfaces terrières par arbre, dm ²	0	0,04	0,12	0,24	0,48	0,75	1,14	1,47	1,92	2,41	3	Total 1.750 dm ²
Surfaces terrières par catégorie, dm ²	0	2,4	14,4	57,6	172,8	300	410,4	352,8	230,4	144,6	60	Total 17,5 m ²
Partage des surfaces terrières	1/2 population 4 m ²					/	1/2 population 13,50 m ²					Total 116 m ³
Volumes par arbre dm ³ ...	0	2,7	8	16	32	50	76	98	128	161	200	Total 116 m ³
Volumes par catégorie m ³ .	0	0,162	0,960	3,640	11,520	20,000	27,360	23,520	15,360	9,660	4,000	Total 116 m ³
Partage des volumes.....	1/2 population 26 m ³					/	1/2 population 90 m ³					Total 116 m ³

LE MODÈLE AU MOMENT DE LA PREMIÈRE ÉCLAIRCIE

Augmentation annuelle des surfaces terrières.

la surface terrière du modèle, en mètres carrés par hectare et par an, quand le diamètre moyen est de 10 cm.

Le tableau n° 6 montre l'accroissement annuel de

TABLEAU 6

Augmentation annuelle des surfaces terrières
 Le modèle ayant 10 cm de diamètre moyen
 m² par hectare

Densité à l'hectare.....	3.000 (1,50 × 2)	2.000 (2 × 2)	1.000 (3 × 3)	500 (4 × 4)	250 (6 × 6)	125 (8 × 8)	62 (12 × 12)
Accroissements mm							
1	0,9	0,6	0,3	0,15	0,075	0,037 5	0,02
2	1,8	1,2	0,6	0,3	0,150	0,075	0,04
3	2,7	1,8	0,9	0,45	0,225	0,112	0,056
4	3,6	2,4	1,2	0,6	0,3	0,15	0,075
5	4,5	3,0	1,5	0,75	0,375	0,187	0,09
6	5,4	3,6	1,8	0,9	0,45	0,225	0,11
7	6,3	4,2	2,1	1,05	0,525	0,262	0,13
8	7,2	4,8	2,4	1,2	0,6	0,3	0,15
9	8,1	5,4	2,7	1,35	0,675	0,337	0,17
10	9,0	6,0	3	1,5	0,750	0,375	0,19
12	10,8	7,2	3,6	1,8	0,9	0,450	0,225
14	12,6	8,4	4,2	2,1	1,05	0,502	0,25
16	14,4	9,6	4,8	2,4	1,20	0,6	0,3
18	16,2	10,8	5,4	2,7	1,35	0,675	0,34
20	18	12	6	3	1,50	0,75	0,375
25	22,5	15	7,5	3,75	1,875	0,9	0,45
Surface terrière du peuplement, m ² /ha	22,5	15	7,5	3,75	1,875	0,9	0,45

Zone utile

TABEAU 7

Augmentation annuelle des volumes,
le modèle ayant 10 cm de diamètre moyen
en m³ à l'hectare

Densité à l'hectare	3.000 (1,50 × 2)	2.000 (2 × 2)	1.000 (3 × 3)	500 (4 × 4)	250 (6 × 6)	125 (8 × 8)	62 (12 × 12)
Accroissements mm							
1	6	4	2	1	0,5	0,250	0,125
2	12	8	4	2	1	0,5	0,250
3	18	12	6	3	1,5	0,75	0,375
4	24	16	8	4	2	1	0,5
5	30	20	10	5	2,5	1,25	0,625
6	36	24	12	6	3	1,50	0,750
7	42	28	14	7	3,5	1,75	0,875
8	48	32	16	8	4	2	1
9	54	36	18	9	4,5	2,25	1,125
10	60	40	20	10	5	2,50	1,250
12	72	48	24	12	6	3	1,5
14	84	56	28	14	7	3,50	1,75
16	96	64	32	16	8	4	2
18	108	72	36	18	9	4,50	2,25
20	120	80	40	20	10	5	2,5
25	150	100	50	25	12,5	6,25	3,125
Volume du peuplement en m ³ /ha	150	100	50	25	12,5	6,25	3,125

Zone utile

TABEAU 8

Eclaircies du modèle et production en fonction des caractéristiques du modèle au moment de l'éclaircie
Accroissement minimum nécessaire d'une plantation pour qu'un investissement de 100.000 Fr C. F. A. à l'hectare soit rentable
le taux d'intérêt variant de 1 à 10 % et le prix du bois sur pied de 1.000 à 10.000 Fr C. F. A.

Densité	2.000	1.000	500	250	125	62	Production* m ³ /ha/an		
Diamètres (cm) moy.	10	20	28	40	57	80	Moyenne	de Début	de Pointe
Accroissements moy. (mm)	Ages de la première éclaircie								
20	2,5	5	7	10	14	20	20	40	80
18	2,75	5,5	8	11	16	22	18	36	72
16	3	6	9	12	18	24	16	32	64
14	3,5	7	10	14	20	28	14	28	56
12	4	8	12	16	24	32	12	24	48
10	5	10	14	20	28	40	10	20	40
9	5,5	11	16	22	32	44	9	18	36
8	6	12	18	24	36	48	8	16	32
7	7	14	20	28	40	56	7	14	28
6	8	16	23	32	46	64	6	12	24
5	10	20	28	40	56	80	5	10	20
4	12,5	25	35	50	70	100	4	8	16
3	17	34	47	68	92	136	3	6	12
2	25	50	70	100	140	200	2	4	8
1	50	100	140	200	280	400	1	2	4

* Production moyenne : $\frac{\text{nombre de m}^3 \text{ à l'exploitation}}{\text{âge à l'exploitation}}$

Production de début : $\frac{\text{nombre de m}^3 \text{ à la première éclaircie}}{\text{âge à la première éclaircie}}$

Production de pointe : celle de l'âge précédant la première éclaircie.

(N. B. — Dans tous les cas la hauteur étant de 10 m, le coefficient de forme $\frac{2}{3}$).

Nous pouvons éliminer *a priori* les augmentations inférieures à 1 m³ : il faudrait plus de 15 ans pour atteindre l'âge de la première éclaircie, de même celles supérieures à 10 m³, qui correspondent à l'âge de 2 ou 3 ans pour la première éclaircie, et une augmentation annuelle de volume de 60 m³/ha an ce qui est à la limite du possible.

Le tableau montre également que les densités élevées 3.000, 2.000 à l'hectare, peuvent encore convenir pour des accroissements très faibles 2 mm. La densité 1.000 correspond à plus de 4 mm, celle de 500 à plus de 7 mm, celle de 250 à plus de 14 mm, les densités moindres ne correspondent pas à des conditions réelles.

Augmentation annuelle des Volumes.

Le tableau n° 7 montre les accroissements annuels en volume quand le diamètre atteint 10 cm.

Nous pouvons y figurer les mêmes séparations qu'au tableau précédent des surfaces terrières, afin de nous limiter aux plantations qui donnent, à ce moment là, plus de 6 m³/ha/an (soit plus de 3 en moyenne) et 60 m³/ha/an à l'éclaircie, soit 30 en moyenne.

On voit ici encore que, à l'intérieur de ces limites, les densités de 2.000 et 1.000 couvrent à peu près tous les cas possibles.

Le tableau n° 8 indique les caractéristiques du modèle au moment de la première éclaircie.

PÉRIODE COMPRISE ENTRE LA PREMIÈRE ÉCLAIRCIE ET L'EXPLOITATION

Extrapolation du modèle de croissance (fig. 7).

Ayant pris comme exemple une plantation serrée à 2 × 2 m, la densité est encore de 2.000 quand le sujet moyen a 10 cm de diamètre (surface terrière 15 m²). Après éclaircie réduisant le nombre à 1.000 la surface terrière peut atteindre 30 m², les diamètres, compris entre 15 et 30, ayant 20 cm en moyenne. Par la suite la surface terrière n'excède pas 30 m².

Au bout d'un certain temps, la majeure partie des classes de la population aura disparu, y compris la classe médiane. Les classes conservées auront alors toutes un diamètre supérieur à celui de la classe médiane. Elles auront notamment plus de 60 cm quand la classe médiane aurait atteint seulement 50 cm si elle avait été conservée.

La plantation atteint alors un volume de l'ordre de 400 m³, quantité sur laquelle on ne compte obtenir que 200 m³ de bois marchand pouvant être vendu sur pied, cette réduction n'étant rien d'autre qu'un coefficient de sécurité.

La production en bois se présente comme suit :

Elle augmente progressivement depuis la planta-

tion jusqu'à la date de la première éclaircie (en moyenne 2 a m³/ha/an). Elle est maximale l'année de la première éclaircie (4 a m³/ha/an). Elle diminue ensuite, par suite de la réduction du nombre de tiges pour devenir voisine de a m³/ha/an à l'exploitation, « a » étant toujours l'épaisseur constante du cerne annuel en millimètres.

Ainsi le modèle évolue de la façon suivante :

-- L'accroissement annuel en millimètres sur le rayon est a (2 a sur le diamètre).

-- La production de bois en moyenne, de la plantation à l'exploitation est a m³/ha/an.

-- La production de début, de la plantation à la première éclaircie, est 2 a m³/ha/an.

-- La production de pointe, correspondant à l'année de la première éclaircie est 4 a m³/ha/an.

Ce dernier chiffre est celui de la production maximale. Il serait encore supérieur les années suivantes ce qui dépasserait le potentiel de la station, ceci par définition, puisque nous admettons que la station peut supporter une surface terrière de 15 m², au maximum.

ÉCONOMIE DU MODÈLE

Il reste encore un problème théorique à résoudre 200 m³ de bois marchand étant obtenus à l'exploitation, quel sera l'investissement justifié possible pour établir et entretenir la plantation, le taux d'intérêt acceptable et le prix du bois sur pied à pratiquer à la vente de la coupe ?

Le tableau n° 9 montre ce que l'on peut admettre

comme taux d'intérêt, ce que l'on doit prévoir pour le prix du bois, selon l'accroissement dont on dispose dans la plantation, ceci pour un investissement un peu supérieur à 100.000 francs CFA l'hectare.

Il est exclu d'obtenir des taux très bas aussi bien que de justifier des taux très élevés. Un prix élevé du bois arrangerait bien les choses, mais on doit

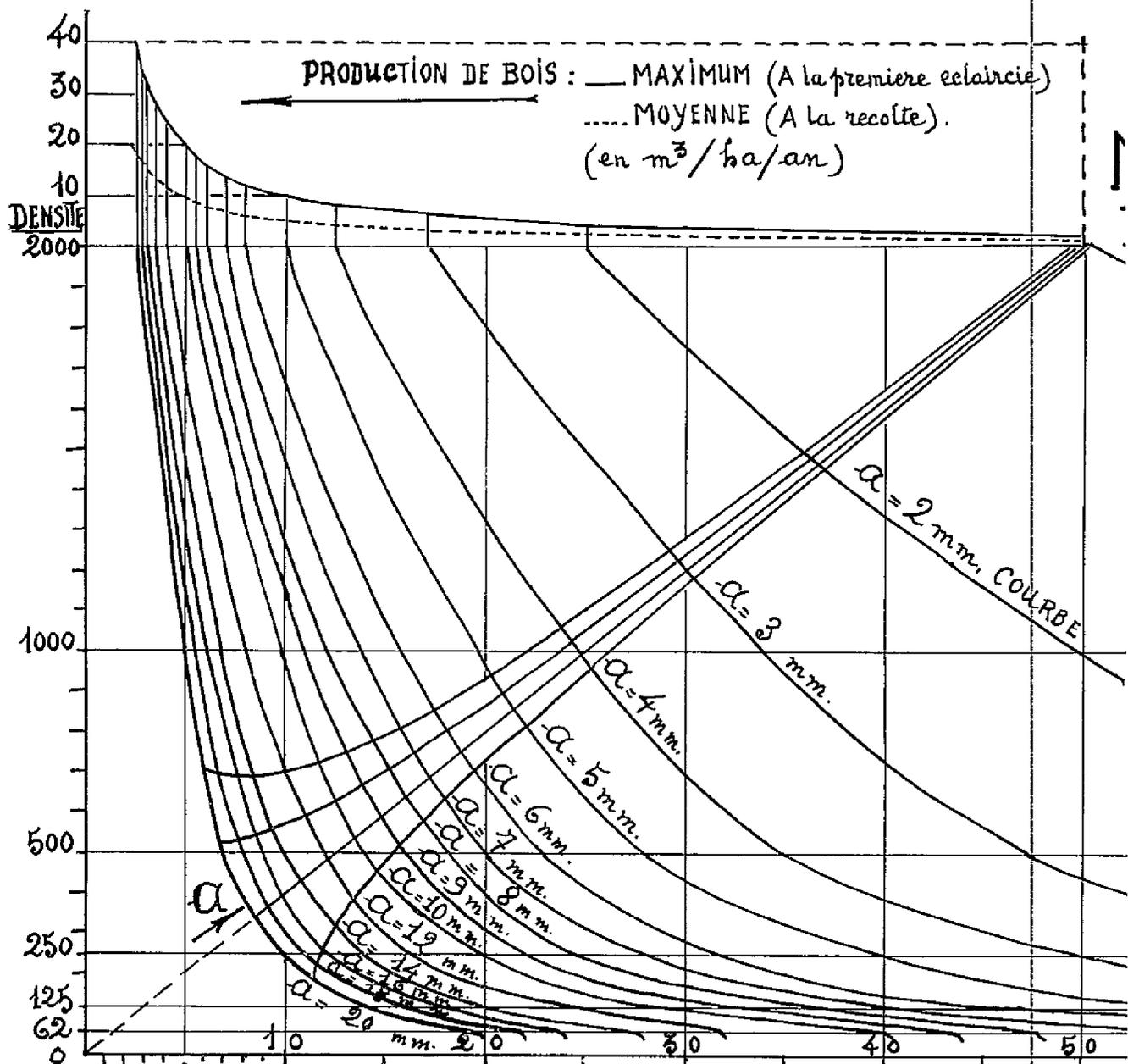


Fig.

rechercher le prix le plus bas possible : 1.000, 2.000, 3.000 francs le mètre cube sur pied.

Ces contraintes nous placent pratiquement aux environs de : 2.000 francs le mètre cube, taux de

4 % accroissement de 7 mm (pour un investissement de 100.000 Fr CFA l'hectare). Ces conditions sont figurées dans le tableau à l'intérieur du cercle.

RÉSUMÉ DE L'ÉTUDE DU MODÈLE

Le modèle est supposé bénéficier des conditions initiales suivantes :

1. — Avoir un accroissement moyen constant du rayon a (millimètres).

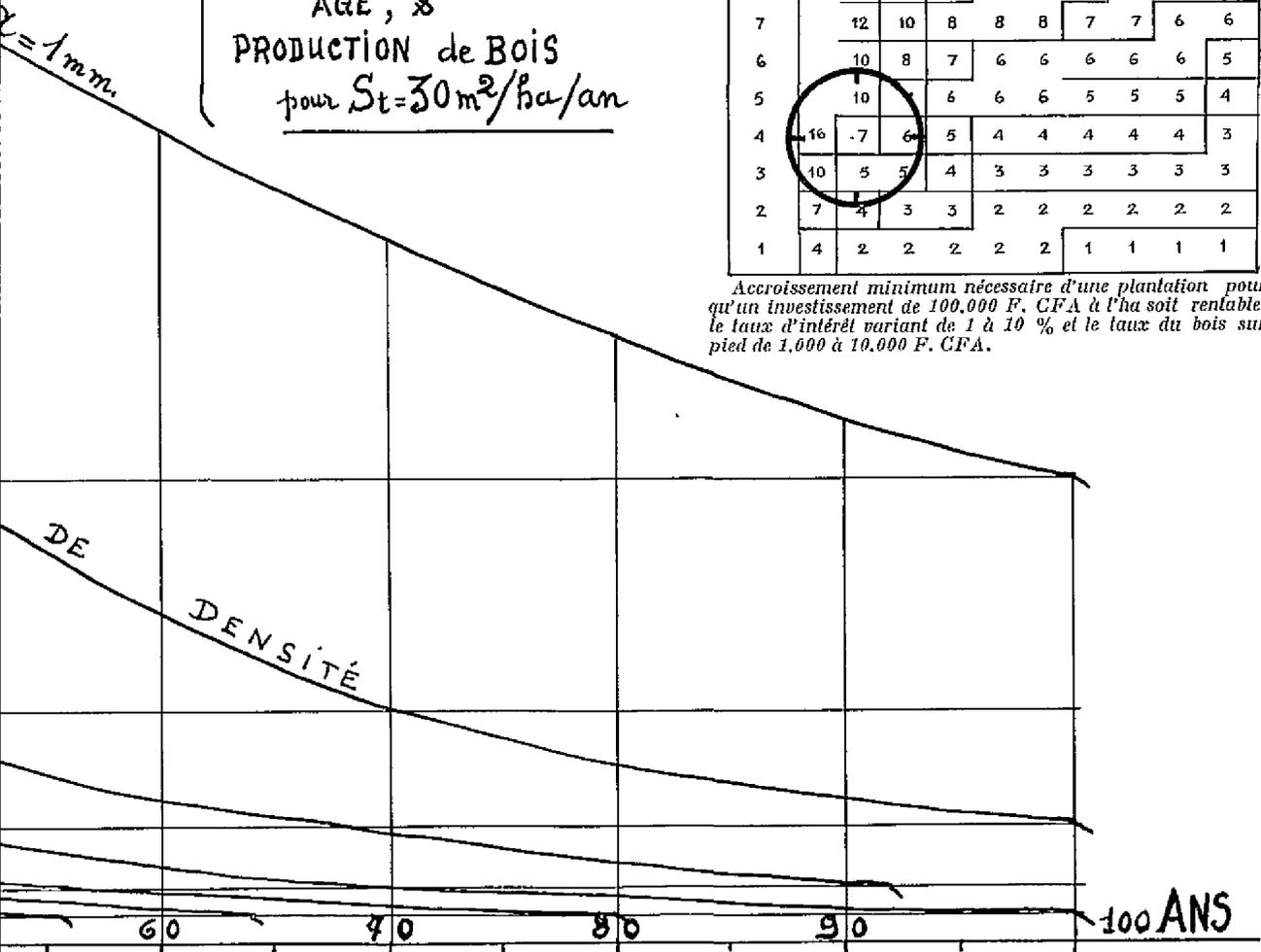
TABLEAU 9

TAUX D'INTERET	PRIX DU BOIS (Milliers de Francs.C.F.A.en m ³ sur pied)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	16	16	12	10	10	9	8	8	8	
9	16	12	10	10	9	8	8	8	8	
8	16	12	10	8	8	8	7	7	7	
7	12	10	8	8	8	7	7	6	6	
6	10	8	7	6	6	6	6	6	5	
5	10		6	6	6	5	5	5	4	
4	16	7	6	5	4	4	4	4	4	3
3	10	5	5	4	3	3	3	3	3	3
2	7	4	3	3	2	2	2	2	2	2
1	4	2	2	2	2	2	1	1	1	1

Accroissement minimum nécessaire d'une plantation pour qu'un investissement de 100.000 F. C.F.A à l'ha soit rentable, le taux d'intérêt variant de 1 à 10 % et le taux du bois sur pied de 1.000 à 10.000 F. C.F.A.

MODELE →

RELATIONS:
 ACCROISSEMENTS α ,
 DENSITÉ,
 AGE, &
 PRODUCTION de BOIS
 pour $S_t = 30 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$



2. -- Etre libéré de toute concurrence :
- a) extra-spécifique : plantation sur un sol libre de végétation,
 - b) intra-spécifique : soumis à des éclaircies convenables explicitées plus haut.
- La première éclaircie a lieu à l'âge E

$$E = \frac{100}{2a} \sqrt{\frac{2.000}{N}} + (1)$$

N étant la densité de plants à l'hectare, (1) exprimant le fait que l'éclaircie n'est pas définie à une année près, la formule se déduisant du tableau n° 2.

Le volume sur pied est alors de 100 m³ à l'hectare l'accroissement annuel du volume est en moyenne

$$2a \sqrt{\frac{N}{2.000}} \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$$

et le double immédiatement avant l'éclaircie ;

-- Les éclaircies suivantes sont déduites du modèle : âge auquel la surface terrière atteint 30 m²

et composition à ce moment des classes éclaircies et des classes conservées.

— L'âge d'exploitabilité est atteint lorsque la classe moyenne parvient à un diamètre de 50 cm, soit un rayon de 250 mm cet âge est égal à $250 \times \frac{1}{a}$ années.

— La production annuelle en bois, variable, est la suivante :

2 a m³/ha/an entre la plantation et la première éclaircie en moyenne ; 4 a m³/ha/an immédiatement avant l'éclaircie, ceci étant le maximum atteint (potentiel de la station) ; a m³/ha/an entre la plantation et l'exploitation, en moyenne.

— La plantation justifie, sans profit ni perte, le bois étant vendu 2.000 Fr le mètre cube, un investissement à l'hectare de 100 à 120.000 Fr au taux de $\frac{a}{2}$ pour cent.

Enfin le modèle peut servir, tel qu'il est présenté, à résoudre des problèmes concernant des projets de plantations. Il peut aussi être ajusté à l'étude d'une plantation d'un type particulier :

— plantation de Teck où les hauteurs ne sont plus uniformément fixées à 10 m mais varient corrélativement avec les accroissements.

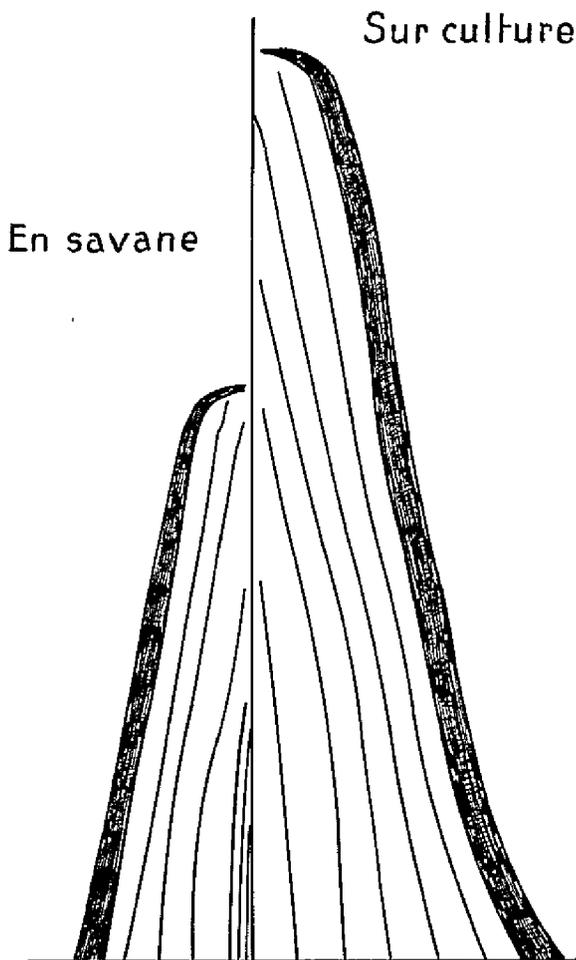
— plantations de forêts denses, Acajou, Niangou, Framiré etc... où les hauteurs sont supérieures à 10 m, etc...

PLANTATIONS RÉELLES ABERRANTES PAR RAPPORT AU MODÈLE THÉORIQUE

Tecks de CHRA - TOGO

Plantation sur culture et plantation sur savane.

Deux plantations voisines ont été examinées en 1951 à CHRA, Togo. Elles avaient été exécutées dans les mêmes conditions l'une sur culture, l'autre sur savane (figure 8) :



Arbre moyen	Sur Culture	Sur Savane
Age	6 ans	6 ans
Diamètre	9,25 cm	6,9 cm
Hauteur	10 m	5,8 m
Volume	48 dm ³	14,4 dm ³

à l'hectare

Nombre de plants	1.900	2.100
Surface terrière	12 m ²	8 m ²
Volume	90 m ³	30 m ³
Production (m ³ /ha/an) ..	15	5
Degré de couverture...	15 %	50 %

La plantation sur culture a meilleur aspect que celle sur savane ; elle a éliminé les graminées, celle sur savane n'y est pas parvenue après 6 ans ; elle est encore sous la menace d'un feu de brousse.

Le tableau précédent nous montre que l'on atteint les résultats suivants à l'âge de 6 ans (figure 9).

a) Sur culture :

- un accroissement a de 8 mm.
- une hauteur de 10 m de tronc
- un diamètre de 10 cm (9,25)
- un volume de 100 m³ à l'hectare.

Nous sommes donc, (à une année près), à l'échance de la première éclaircie ; c'est bien ce que le modèle indique pour :

$$a = 8 ; E = \frac{100}{16} = 6,25 = 6 \text{ (à une année près)}$$

Selon le modèle, l'exploitation serait possible vers l'âge de 30 ans, les diamètres ayant alors largement dépassé 50 cm.

FIG. 8.

Les possibilités économiques, intéressantes, seraient les suivantes :

— Investissement de 100.000 francs CFA à l'hectare, taux de 10 %, prix du bois sur pied 8.000 francs le mètre cube.

— Ou encore, avec le même investissement, taux de 2 %, le bois étant vendu 1.000 francs seulement, plusieurs combinaisons intermédiaires étant possibles.

b) Sur savane :

- un accroissement a de 6 mm.
- une hauteur de 6 m
- un diamètre de 7 cm
- un volume de 30 m³ à l'hectare.

Un modèle de ce genre ($a = 6$ au lieu de $a = 8$) ne devrait être en retard que de 2 ans pour la première éclaircie (à 8 au lieu de 6 ans) et de 10 ans pour l'exploitation (à 40 au lieu de 30 ans) par rapport au modèle précédent.

Economiquement ce modèle serait encore intéressant (bois à 5.000 francs et 6 %, ou à 4.000 francs à 5 %, ou à 3.000 francs à 4 %, ou encore 2.000 francs à 3 %...).

Il en serait de même pour cette plantation si elle était exempte de concurrence extérieure, c'est-à-dire installée sur sol dépourvu de végétation, et non pas occupée par des graminées comme elle l'est encore.

Il apparaît clairement que la plantation sur savane est condamnée. Avec 50 % de lumière pour les graminées, on fabrique au moins autant d'herbe que de bois. Il n'est donc pas question d'éclaircir ; les arbres vont végéter jusqu'à ce qu'un préposé énergique leur administre un « recépage » par une « coupe à blanc étoc » provoquant une poussée de rejets en apparence dynamiques, puisqu'ils héritent de plusieurs années d'enracinement laborieux, mais, étant trop nombreux, condamnés à faire des gaulettes, perchettes et autres poteaux.

La plantation sur savane est donc sans intérêt économique.

L'interprétation pédologique de la station de CHRA, jointe à l'examen du modèle, se résume ainsi : Sol profond, 60 cm, riche (10 milliéquivalents) offrant théoriquement les possibilités suivantes :

Plantation de Teck d'accroissement $a = 10$ mm pouvant être exploitée à 25 ans, justifiant un investissement de 100.000 francs CFA l'hectare au taux de 10 %, le prix de revient du bois étant de 5.000 francs CFA le m³ (ou taux de 3 % avec un prix de revient de 1.000 francs CFA le m³).

ACTIVITÉ VÉGÉTATIVE DE LA PLANTATION ET POTENTIEL DE LA STATION « PRIMUM VIVERE, DEINDE LIGNUM FACERE »

Une plantation a une activité végétative variable selon l'espèce, la densité des plants, l'âge, la tendance naturelle étant à l'augmentation. La sta-

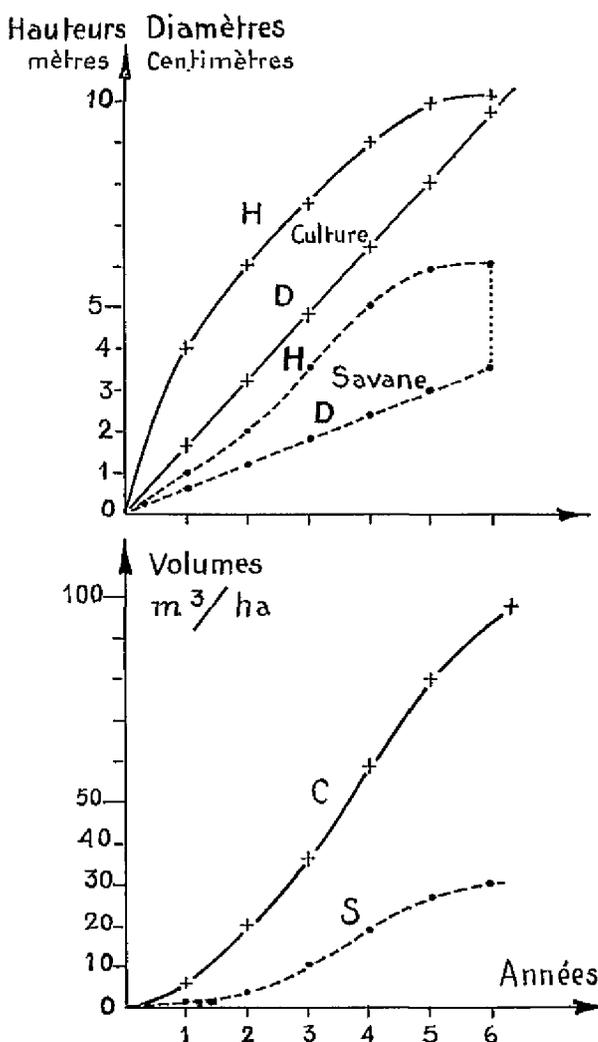


Fig. 9.

Dans une plantation établie sur une culture pratiquée sans beaucoup de soins, on a néanmoins obtenu des résultats intéressants, la plantation réelle paraissant conforme au modèle théorique dans lequel l'accroissement a serait encore de 8 mm.

Dans la plantation établie sur savane, il ne semble pas que les résultats prévisibles d'après le modèle ($a = 6$ mm) puissent être atteints, ceci en raison de l'existence de la concurrence préjudiciable des graminées.

tion, compte tenu du climat et du sol peut satisfaire les besoins de cette activité du moins jusqu'à une certaine valeur de celle-ci que nous fixerons à

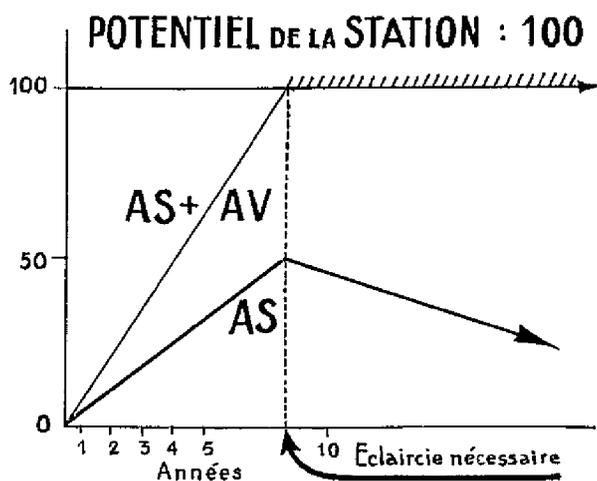


FIG. 10.

100, ce chiffre étant par définition le potentiel de la station et le maximum que peut atteindre l'activité de la plantation.

Cette activité se divise en deux parties très complexes :

— l'une, l'activité végétative, met en œuvre de l'eau, des matières minérales, de l'énergie, son bilan étant surtout une production de gaz carbonique. Cette partie correspondrait dans le règne animal à la ration d'entretien.

— l'autre, l'activité de synthèse, met en œuvre les mêmes éléments mais produit des matières végétales et notamment du bois.

Nous supposons ces deux parties égales entre elles leur somme étant inférieure ou égale à 100 dans la station (1) (Tableau n° 10.)

Quand l'activité végétative toujours croissante de la plantation atteint le potentiel de la station, les activités végétatives conservent en quelque sorte une priorité sur les activités de synthèse :

« PRIMUM VIVERE,
DEINDE LIGNUM FACERE »

Le feuillage devient plus dense, mais les cernes d'accroissement diminuent d'épaisseur ; la plantation fabrique moins de bois, et plus de gaz carbonique (figure 10).

Lorsque l'activité végétative totale atteint la valeur 100, potentiel de la station, et maximum possible, une éclaircie est nécessaire. Cette éclaircie en réduisant le nombre de liges, ramène l'activité végétative totale nouvelle à une valeur inférieure à 100, ce qui permet à la croissance de se poursuivre pendant un certain temps, sans que les activités de synthèse entrent en concurrence avec les activités végétatives privilégiées. La production de bois reste à son maximum, au lieu de décroître.

MAUVAISE CONDUITE DU PEUPEMENT

L'Arbre lièvre et l'Arbre tortue.

Les analyses de tige de l'arbre moyen d'Atakpamé, au Togo et de l'arbre moyen de Marakissa, en Casamance, semblent nous montrer des résultats très semblables (tableau n° 11 et figures 11 et 12).

Un examen plus attentif montre qu'il n'en est rien et que la station d'Atakpamé est meilleure que

celle de Marakissa : les sujets y ont en effet sensiblement les mêmes dimensions, soit 6 à 7 cm de diamètre et 6 à 7 m de haut, respectivement à l'âge de

(1) La part des activités de synthèse serait relativement plus forte chez les résineux que chez les feuillus ; plus élevée (60 %) chez les feuillus tempérés que chez les feuillus tropicaux (40 %). Ceci étant encore mal connu.

TABLEAU 10

Bilan schématique de l'activité d'une plantation

AV = activités végétatives.
(Respiration, transpiration, etc.) = production de CO₂.
AS = activités de synthèse — production de bois.

Années	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
AV	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
AS	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	45	40	35	30	25	20	15
Total.....	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	100	100	100	100	100

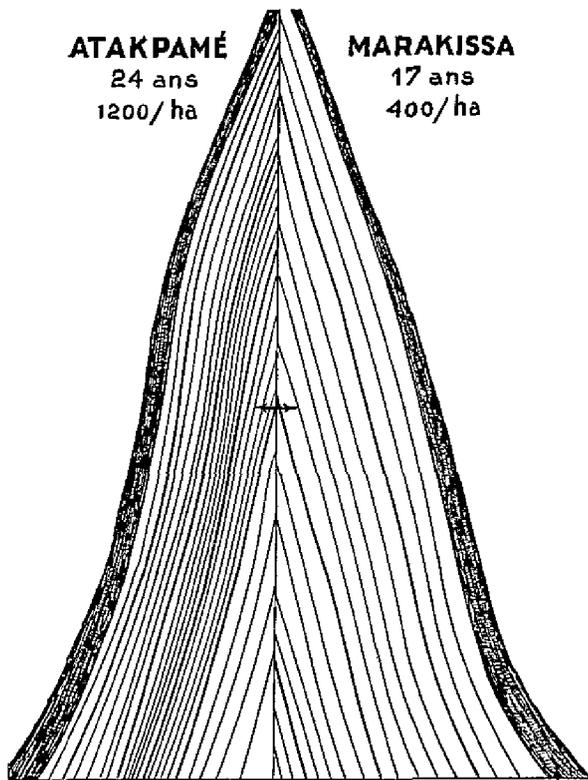


FIG. 11.

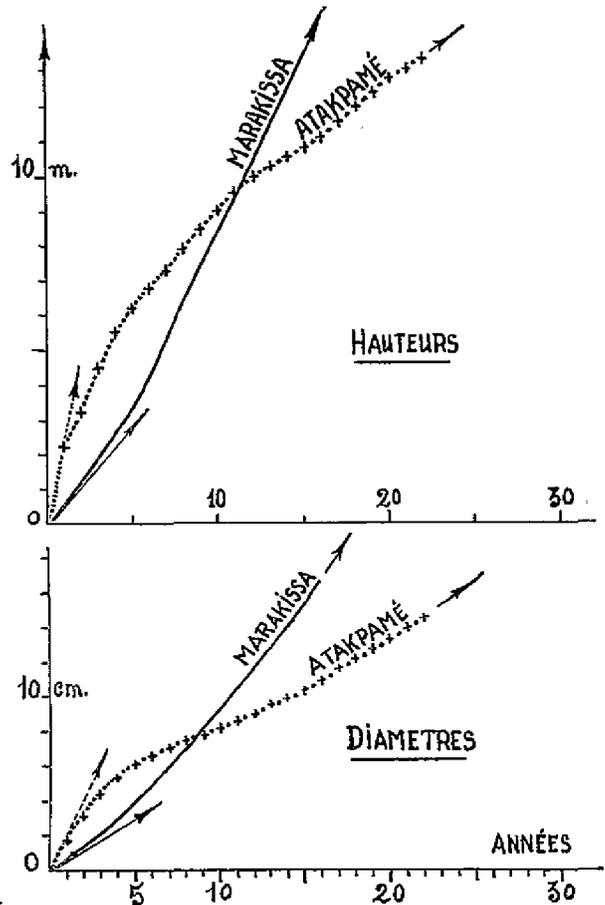


FIG. 12.

TABLEAU 11
Tecks d'Atakpamé et de Marakissa

	Atakpamé	Marakissa
Arbre moyen :		
Age, années	24	17
Diamètre cm	16	20,5
Hauteur m	13,4	16
Volume dm ³	100	250
dv	4,1	14
A l'hectare		
Densité	1.200	400
Surface terrière m ²	24	13
Volume m ³	120	102
dv m ³ /ha/an	6	6
Sol		
p cm	120	120
S meq.	2	2,85

5 ans et de 8 ans, mais à ce moment des éclaircies sont intervenues à Marakissa, l'accroissement, de 5 mm au départ s'est amélioré et il est passé à 6 mm ; il en a été de même en ce qui concerne la hauteur.

À Atakpamé il n'y a pas eu d'éclaircie, sauf quelques éliminations par concurrence naturelle, et l'accroissement est passé de 6 à 2 mm tandis que l'allongement se réduit.

L'explication de ces différences se trouve dans la densité des plants à l'hectare : à Atakpamé il y a 1.200 plants à 24 ans, à Marakissa seulement 400 à 17 ans.

Pour atteindre 50 cm de diamètre, il faudra attendre 50 ans à Atakpamé, 25 à Marakissa, où malgré un net désavantage au départ, l'intérêt financier est 4 fois plus grand qu'à Atakpamé.

CONCLUSIONS

Le modèle de croissance est une représentation théorique d'une plantation forestière projetée dans l'avenir.

Il peut être utilisé à deux fins.

Appliqué à une plantation existant réellement, dont on connaît plus ou moins bien le passé et assez

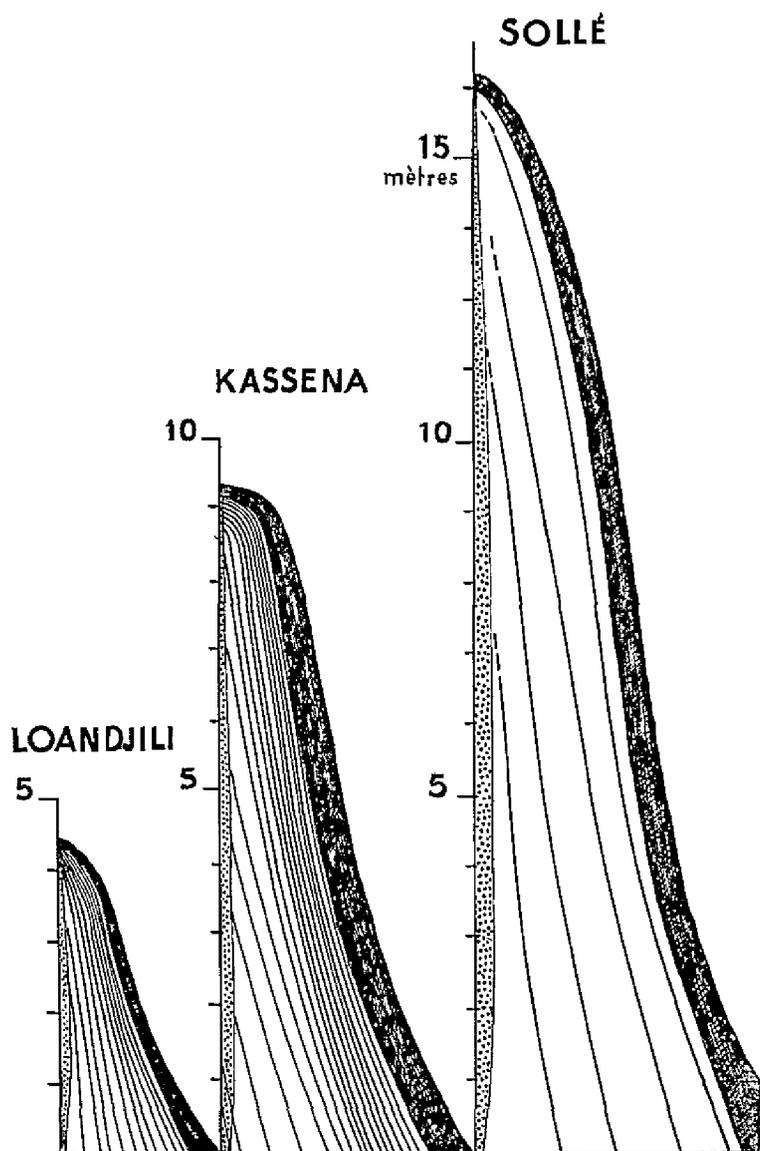


FIG. 13.

TABLEAU 12

Peuplement	Loandjili	Kassena	Solle
Age (nombre d'années)	12	17	5
Densité (nombre de plants à l'ha)	1.400	2.250	1.050
Accroissement (en mm)	2	6	15
Production réelle mesurée (en m ³ /ha/an)	1,4	7	23
Sol			
Profondeur P en cm	90	30	100
Fertilité S meq. pour 100 graines.	0,64	5	10
Production théorique R = $\frac{1}{30}$ P.S.	2	5	33
(en m ³ /ha/an)			
Comparaison avec le Modèle	Devrait être éclairci à 50 ans. A 12 ans 1.400 plants ne se gênent pas. Plantation sans intérêt les conditions du milieu n'étant pas celles du Teck	L'éclaircie aurait dû intervenir à 8 ans. A 17 ans les 2.250 plants se gênent depuis une dizaine d'années. La plantation est valable, le manque d'entretien lui enlève son intérêt économique	L'éclaircie devrait intervenir à 3 ans $\frac{1}{2}$ pour une densité de 2.000 et à 4 ans $\frac{1}{2}$ à la densité réelle de 1.050 à l'ha. Les plants vont entrer en concurrence, la production de bois va diminuer au profit de celle du gaz carbonique.

mal l'avenir, il peut servir de cadre à une étude critique de cette plantation, et à des prévisions la concernant.

A titre d'exemple voici trois schémas d'analyse de la tige de l'arbre moyen de trois plantations (fig. 13).

A Loandjili (Congo), tecks en très mauvaises conditions (sur sable lessivé, moins de 1 milliéquivalent de bases, moins de 1 m de pluie).

A Kassena (Togo), tecks en conditions moyennes (sol sableux sur cuirasse, 5 milliéquivalents de bases, plus de 1 m de pluie).

A Sollé (Cameroun), tecks en conditions exceptionnelles (sol profond, sablo-argileux sur argilo-sableux riche : 10 milliéquivalents)

Ces conditions sont résumées dans le tableau 12.

Adapté à une station sur laquelle des reboisements sont projetés ou pourraient l'être si l'on savait qu'ils soient intéressants, il permet de faire des prévisions raisonnables.

C'est là son principal intérêt. Encore faut-il pour faire des projets avoir un point de départ, ce point étant au minimum le nombre à qui mesure en millimètres l'accroissement annuel du rayon de l'espèce choisie et dans le cas de la station considérée cette valeur est fournie soit par l'étude approfondie de la station, soit par l'examen de plantations existantes même jeunes.

La souplesse du modèle proposé lui permet d'être facilement adapté à la solution de problèmes particuliers concernant l'établissement et la conduite des plantations.