

**LE PIN SYLVESTRE  
ET LE  
PIN LARICIO DE CORSE  
EN SOLOGNE**

**Tables de production provisoires  
et méthodes utilisées pour les construire**

PAR

**N. DÉCOURT**

Ingénieur des Eaux et Forêts  
Chargé de Recherches au C.N.R.F.

*Avec la collaboration technique de Messieurs*

**F. MICHAUX**

Chef de District des Eaux et Forêts  
C.N.R.F.

**A. TISSERAND**

Chef de District des Eaux et Forêts  
C.N.R.F.

**R. SIMON**

Chef de District des Eaux et Forêts

## REMERCIEMENTS

Que tous ceux qui nous ont aidés dans ce travail soient remerciés ici, et plus particulièrement :

— Les propriétaires forestiers solognots qui nous ont permis d'installer des placettes dans leurs forêts et qui nous ont fait bénéficier souvent de leur grande compétence.

— M. PARDÉ, Ingénieur en Chef des Eaux et Forêts, Directeur de Recherches, Chef de la Station de Sylviculture et de Production du C.N.R.F., qui nous a confié ce travail, et qui nous a fait bénéficier de sa grande expérience et de ses excellents conseils.

— M. TOMASSONE, Ingénieur des Eaux et Forêts, Chargé de Recherches à la Station de Biométrie du C.N.R.F., qui a pris en charge les calculs de régressions multiples et qui nous a utilement conseillé.

— Messieurs les Calculateurs et Dessinateurs et plus spécialement M. QUILLE, qui a mené à bien des calculs souvent longs et fastidieux.

---

Le but de cette étude est, à l'occasion de la construction de tables de production utilisables en Sologne, de rechercher une méthode permettant, dans un proche avenir, de construire de telles tables pour d'autres essences et pour d'autres régions.

Il n'est pas utile de revenir sur les caractères généraux des tables de production. Ils ont été exposés par ailleurs [PARDÉ (28), DÉCOURT (12)].

Par contre, une large place sera faite à l'étude des méthodes utilisées, tant pour la récolte des données sur le terrain que pour le calcul des tables. On exposera ensuite les résultats obtenus, l'utilisation pratique des tables et les possibilités d'études théoriques qu'elles offrent. Mais, il convient d'abord de situer sommairement le problème sur le plan géographique et économique.

## I — Généralités sur la Sologne.

### 1.0 — *Situation géographique.*

La Sologne couvre environ 500 000 ha, grossièrement limités par le grand arc de la Loire entre Cosne et Amboise au Nord, par le Cher au Sud, par les collines du Sancerrois à l'Est et par le méridien passant à mi-chemin de Blois et d'Amboise à l'Ouest [PARDÉ (29)].

Le relief est peu accidenté: l'altitude augmente sensiblement d'Ouest en Est, de 90 m environ à 130 m. Les eaux s'écoulent d'Est en Ouest, dans le bassin de la Loire.

### 1.1 — *Le climat.*

Il s'agit d'un « climat de transition » dont le caractère principal est de varier considérablement d'une année à l'autre [GODRON M. et plusieurs coauteurs (17)]. Au contraire, on peut le considérer comme assez comparable sur l'ensemble de la Sologne et même sur les régions immédiatement avoisinantes. Les différences locales sont dues souvent à la situation topographique des Stations.

Le tableau 1, tiré des données de la météorologie nationale, souligne ce caractère pour les températures et la pluviosité annuelle.

L'indice C.V.P. [PARDÉ (29), (30), (31)] calculé selon la méthode proposée par PARDÉ en 1964 (32) confirme ces caractères sous l'angle de la production ligneuse.

TABLEAU I  
DONNÉES CLIMATIQUES SUR LA SOLOGNE  
ET LES RÉGIONS VOISINES  
[PARDÉ, 1964 (32)]

Stations	Température moyenne du mois le plus chaud (d°)	Température moyenne du mois le plus froid (d°)	Pluiosité moyenne annuelle (mm)	Indice C.V.P.
ROMORANTIN	19,5	2,8	587	269
BLOIS	19,4	2,8	625	285
ORLEANS	19,2	2,4	632	269
BOURGES	19,8	2,5	661	285
MONTARGIS	19,6	2,4	598	256
LOCHES	19,9	3,2	633	295
CHATEAURoux	19,8	2,8	667	298
CHATEAUDUN	18,8	2,3	579	241

On observe en fait une légère augmentation de la pluiosité moyenne annuelle d'Ouest en Est. Des variations annuelles du même ordre existent cependant en chaque point, selon la période étudiée.

Notons que le régime pluviométrique n'est pas de type océanique, mais au contraire très irrégulier et très variable d'une année sur l'autre.

### 1.2 — Les sols.

Les sols sont installés sur des roches sédimentaires meubles et acides qui datent de l'ère tertiaire. En gros, elles sont constituées par un fond commun d'origine granitique, venu du Massif Central au Burdigalien sur lequel se sont déposés des sédiments plus récents, en particulier au Sud de la Grande Sauldre, un large manteau de sables à silex venu des collines crétaées du Sancerrois. Divers remaniements dus à l'érosion fluviale et éolienne sont ensuite intervenus au quaternaire.

Sur ces roches-mères, très hétérogènes, les sols sont très variés, mais appartiennent à la série qui va des sols bruns plus ou moins lessivés jusqu'aux véritables podzols [DUCHAUFour (15)].

Une certaine homogénéité de l'ensemble, à l'échelle d'une grande région, mais en fait une mosaïque très variée et très morcelée dans le détail, caractérise donc les conditions édaphiques.

La relative uniformité climatique doit se traduire par des conditions de croissance homogènes, qui justifient la construction d'une table de production valable pour l'ensemble de la région et même pour les régions assez voisines (Forêts d'Orléans, de Blois, de Montargis). La grande variété de détail des conditions pédologiques laisse supposer des différences importantes entre les stations qui se traduiraient par la répartition nécessaire des peuplements en plusieurs classes de fertilité.

### 1.3 — *Importance relative des différentes essences forestières.*

On peut estimer [RIVÉ (38), PARDÉ (29)] que sur 504 000 ha, 80 000 ha sont couverts par la forêt feuillue, souvent un mauvais taillis clairié, et 70 000 ha par des résineux — 130 000 ha de friches ou de landes seraient susceptibles de mise en valeur forestière.

Par ordre d'importance *actuelle*, les principales essences résineuses sont :

- Le Pin Sylvestre,
- Le Pin Maritime,
- Le Pin Laricio de Corse,
- Le Douglas.

Sans négliger, pour autant, les deux autres, dont l'intérêt n'échappe à personne, priorité a été donnée à l'étude du Pin Sylvestre, parce qu'il est d'un usage fréquent et à celle du Pin Laricio de Corse, de plus en plus employé avec de remarquables résultats.

## II — **La récolte des données.**

Les données utilisées proviennent de 169 placettes temporaires et d'un seul dispositif permanent, celui de l'Arboretum des Barres.

### II.1 — *Un dispositif permanent insuffisant.*

Aucun dispositif permanent n'existe en Sologne. Le plus voisin est celui de l'Arboretum des Barres [POURTET, PARDÉ, TURPIN (33), (34), (35)]. Cet unique dispositif, situé à proximité de la région étudiée et dans un climat très comparable n'a fourni pourtant qu'un petit nombre de données, pour les raisons suivantes (Cf. Tableau II) :

— Les placettes les plus anciennes ont été établies dans des peuplements souvent très âgés, n'ayant subi pratiquement aucune opération culturale jusqu'en 1930. Le but des premiers expérimen-

tateurs était en effet de laisser croître en toute liberté les essences introduites. Dans ces peuplements, il était illusoire de retrouver autre chose qu'une évaluation par défaut, et imprécise, de la production totale. De plus, le traitement de ces placettes en fait des cas très particuliers.

TABLEAU II  
PLACES DE L'ARBORETUM DES BARRES

Nom de la placette	Espèces	Surface de la placette (ha)	Durée des observations (en 1959)	Remarques	Date de prise en charge par la Station de Recherches
Pièce Popiliat	P.Laricio de Calabre	0,19	107 à 131 ans	1ère génération	1933
Sables Rouges	P.Laricio de Calabre	0,62	74 à 98 ans	2ème génération	1933
Grande Métallerie	P.Laricio de Calabre	0,13	46 à 70 ans	3ème génération	1933
Barillons B.XI et B.XVII	P.Laricio de Calabre	0,17	26 à 31 ans	4ème génération	1953
Côte aux Genêts	P.Laricio de Corse	0,28	108 à 131 ans	1ère génération	1933
Enclos des Pins	Pin Sylvestre (Riga)	0,33	107 à 126 ans	1ère génération	1933
Sables Paillennes	Pin Sylvestre (Riga)	0,70	74 à 97 ans	2ème génération	1933
Barillons B.XVIII	Pin Sylvestre (Wangenbourg)	0,074	<sup>24</sup> à 29 ans	1ère génération	1933

— Certaines de ces placettes sont d'une surface beaucoup trop faible pour donner des indications solides sur la production moyenne à l'hectare.

— Les méthodes rationnelles [AYRAL et ABADIE (4)] d'échantillonnage et de cubage n'y sont appliquées que depuis quelques années.

— Les placettes d'un âge supérieur à 90 ans, uniques en leur genre, dans la région, sont de ce fait d'un intérêt limité pour la construction de tables de production.

— Enfin et surtout, qu'elles soient permanentes ou temporaires, des placettes ne peuvent donner des renseignements suffisants sur la production ligneuse d'une espèce, que si elles sont nombreuses et bien réparties dans toutes les stations de fertilité, parfois très

différentes, de la région considérée. Une étude de production doit disposer d'un réseau de placettes et non pas seulement de quelques dispositifs, même perfectionnés, mais isolés.

Toutes ces raisons expliquent qu'on se limitera à quelques renseignements seulement, tirés de ces placettes et d'autre part qu'on assimilera ces données à celles obtenues à partir de placettes temporaires, sans leur donner plus d'importance.

On notera aussi que le dispositif de Pins Laricios, le plus important, est celui des Pins de Calabre et non des Pins de Corse.

Les avis autorisés de J. POURTET (35) et de É.-F. DEBAZAC (11) permettent cependant de considérer ces deux pins comme extrêmement voisins, puisqu'ils ne seraient que deux formes d'une même espèce, *Pinus nigra* Arn. ssp. *Laricio*, Poiret (11). Cela explique qu'un certain nombre de mesures faites dans les peuplements de Pins de Calabre aient été utilisées.

La liste des données utilisées figure à la fin des tableaux III.

L'emplacement du domaine des Barres est indiqué sur la carte de la figure 1.

## II.2 — Les placettes temporaires.

Ces placettes temporaires ont été multipliées à travers la France, dans des peuplements d'essences diverses, à l'initiative de J. PARDÉ. Elles servent d'ailleurs de base à de nombreuses études de production comparée dans plusieurs régions de notre pays [PARDÉ (27), (29)].

De 1959 à 1963, un effort particulier a été fait en Sologne, dans le but de construire des tables de production pour le Pin Sylvestre et pour le Pin Laricio de Corse.

### II.2.1 — Choix des placettes.

L'ensemble des placettes devant donner une image fidèle des diverses conditions de croissance en peuplements purs et équiennes des deux espèces étudiées, il faut, pour chaque espèce, les répartir aussi également que possible entre les classes d'âge et entre les stations de fertilité différente. Cela suppose connus à priori les types de stations et leurs fertilités relatives pour chaque espèce.

En fait, on s'est contenté, au stade de la prospection, d'établir une échelle arbitraire des fertilités, fondée sur la hauteur moyenne atteinte par le peuplement à un âge donné.

On sait, en effet, que la hauteur d'un peuplement forestier est peu influencée par le traitement sylvicole et qu'au contraire, pour une espèce donnée, dans une région et à un âge bien déterminé, elle dépend surtout de la qualité de la station.

Cette échelle arbitraire se traduit par un ensemble de courbes donnant la hauteur moyenne — plus précisément la hauteur de

l'arbre de surface terrière moyenne — en fonction de l'âge. Ce faisceau de « courbes de fertilité » provisoires est grossièrement analogue à ceux des figures 5a et 5b.

Les tables de productions étrangères [HUMMEL et CHRISTIE (19) et WIEDEMANN-SCHÖBER (41)] et les résultats obtenus aux Barres et dans les premières placettes mesurées ont servi de base à cette échelle provisoire des fertilités.

Les placettes choisies doivent ensuite être réparties aussi également que possible, entre les classes d'âge et dans chaque classe d'âge entre les classes de hauteurs, à l'aide du réseau de courbes provisoires.

Il n'a pas été tenu compte des différences éventuelles de races au sein d'une même espèce, nous reviendrons plus loin sur ce problème et sur celui de la fertilité.

#### 11.2.1 — *Assiette et dimension des placettes.*

Bien que n'étant pas sélectionnées par types écologiques, les placettes doivent évidemment se trouver sur une station grossièrement homogène. Nous voulons dire par là, que négligeant une classification trop fine des types écologiques, aucune placette n'est cependant à cheval, par exemple, sur une lande à Fougères et sur une lande à Callune.

A l'homogénéité écologique, s'ajoute l'homogénéité forestière. L'aspect du peuplement doit être comparable en tout point. Il convient notamment d'éliminer assez largement les arbres de bordure, ou les trouées excessives dans le peuplement.

Outre ces critères d'homogénéité, seules des placettes de dimension suffisante ont été retenues. En effet, plus une placette est petite, plus l'erreur commise sur l'évaluation des valeurs à l'hectare est grande. De plus, ces trop petites placettes correspondent à des peuplements d'une régularité jamais observée sur de plus grandes surfaces. Elles fournissent ainsi des surfaces terrières et des volumes à l'hectare, beaucoup plus forts pour une même hauteur moyenne, par exemple, que les peuplements entiers.

L'idéal serait de respecter la règle empirique suivante: au moins autant d'ares que d'années d'âge. En fait, la difficulté de trouver des placettes répondant aux conditions imposées sur une surface suffisante explique qu'on se borne à les choisir suffisamment grandes et d'autant plus qu'elles sont plus âgées.

Les placettes retenues sont limitées à la peinture, numérotées, repérées sur la carte et levées à la boussole forestière. Elles peuvent ainsi servir de bases, en plus des mesures forestières à des observations pédologiques et phytosociologiques, faites soit au moment des mensurations, soit ultérieurement.

11.2.2 — *Mesures et calculs effectués.*

On effectue un inventaire complet du peuplement sur pied. Les circonférences sont mesurées au ruban et à 1,30 m du sol. On établit ensuite un échantillon stratifié, à l'image du peuplement, le pourcentage d'échantillonnage restant constant dans chaque catégorie de circonférence. L'importance de l'échantillon varie de 20 à 30 tiges. Les arbres de l'échantillon, choisis à travers toute la surface de la placette, donnent lieu à une série de mesures.

— Hauteur totale jusqu'au bourgeon le plus haut.

— Circonférence à 1,30 m — au ruban.

— Hauteur de la découpe « Bois fort », soit 22 cm de circonférence.

— Circonférence au milieu de cette dernière hauteur, pour permettre le cubage commercial exact de ces tiges. Cette mesure nécessite le grimpage à l'aide d'échelles légères, fixées au tronc.

— Eventuellement, d'autres mesures sont faites: circonférences à hauteur de souche, épaisseur d'écorce, hauteur des plus gros arbres en plus de l'échantillon.

Ces mesures permettent ensuite de déterminer par le calcul, les caractéristiques suivantes\* :

— Nombre d'arbres à l'hectare: N

— Surface terrière à l'hectare: G, somme des surfaces des sections à 1,30 m des arbres du peuplement.

— Circonférence moyenne:  $C_g$ , circonférence de l'arbre de surface terrière moyenne (g) définie à partir de G et N:

$$g = \frac{N}{G}$$

$$C_g = \sqrt{4\pi g}$$

— Hauteur moyenne:  $H_g$ , hauteur de l'arbre de surface terrière moyenne, ou de circonférence moyenne  $C_g$ , lue pour chaque placette, sur la courbe donnant la hauteur en fonction de la circonférence. Cette courbe est établie pour chaque placette, à partir des mesures faites sur l'échantillon et sans transformation des données. Elle est tracée « à l'estime » en laissant autant de points représentatifs au-dessous de la courbe qu'au-dessus.

— Le volume: V. Son calcul nécessite l'établissement d'un tarif de cubage à une entrée, donnant le volume bois-fort d'un arbre, en fonction de sa circonférence à 1,30 m. Le tarif est calculé par la

\* Le symbolisme défini ici tient compte des recommandations de l'I.U.F.R.O. pour la normalisation des symboles dans les mesures forestières. Il sera utilisé sans modification, dans la suite du texte.

méthode des moindres carrés. Il correspond à une équation de la forme [AYRAL et ABADIE (4)] :

$$v = a + b c^2 \quad \left\{ \begin{array}{l} v = \text{volume bois fort de l'arbre} \\ c = \text{circonférence à 1,30 m de l'arbre} \\ a, b = \text{constantes.} \end{array} \right.$$

Ce tarif permet d'évaluer le volume  $V$ , à l'aide de l'inventaire en circonférences et avec une bonne approximation. L'erreur-type reste, sauf cas exceptionnel, inférieure à 2 %.

On remarquera, d'autre part, que l'arbre moyen ( $H_g$ ,  $C_g$ ) est également l'arbre de volume moyen du peuplement.

— Circonférence dominante:  $C_0$ , circ.

— Hauteur dominante:  $H_0$ , hauteur de l'arbre de circonférence  $C_0$ , lue sur la même courbe que  $H_g$ .

— L'âge du peuplement  $A$ , se déduit de la mesure des âges de trois ou quatre individus. Cette mesure s'effectue par sondage de l'arbre jusqu'au cœur et à 30 cm au-dessus du sol. La « carotte », ainsi obtenue, permet, par comptage de ses cernes annuels, de connaître le nombre d'années écoulées depuis que l'arbre a dépassé 30 cm de hauteur. On admet que, pour des pins, il faut 3 ans en moyenne pour atteindre ces 30 cm. L'âge du plant s'en déduit aisément à 1 ou 2 ans près.

L'âge moyen du peuplement est ainsi déterminé avec une précision suffisante, dans la mesure où il est suffisamment régulier, disons, si les mesures individuelles ne diffèrent pas de plus de 2 ou trois ans de leur moyenne. Sinon, il devient difficile de considérer le peuplement étudié comme équiennne.

Pour rendre comparables entre elles les placettes, les valeurs de  $G$ , de  $N$  et de  $V$  sont rapportées à l'hectare.

La liste des placettes temporaires et leurs caractéristiques figurent sur les tableaux IIIa et III b. Leur répartition géographique est donnée par la carte de la figure 1.

### 11.2.3 — *Problème de la « récupération » des éclaircies.*

Les placettes temporaires, mesurées une seule fois, ne fournissent qu'une image « instantanée » du peuplement sur pied. Elles ne renseignent pas notamment sur le volume total de bois produit, mais uniquement sur le volume sur pied. Le volume enlevé en éclaircie ou par la mortalité naturelle n'est pas connu.

L'inventaire des souches restant sur la coupe et l'établissement d'une relation permettant de déduire de leur grosseur le volume de l'arbre abattu [PARDÉ (28), MEYER (24), DÉCOURT (13)] répond en partie seulement au problème de l'évaluation du volume enlevé en éclaircie.

Cette méthode est en effet très imparfaite. En admettant même que toutes les souches soient retrouvées, elle ne permet que l'évaluation des circonférences à 1,30 des arbres enlevés. Les tarifs de cubage, à une seule entrée, permettant de passer de la circonférence au volume, changent avec l'âge du peuplement, d'autant plus vite que la croissance est plus rapide. On sait que ces tarifs « montent » avec l'âge. Le tarif applicable l'année de la coupe ne l'est plus au moment de la mesure des souches. L'erreur ainsi commise, étudiée dans quelques-unes de nos placettes permanentes, où le volume réel enlevé est connu, peut varier de quelques % à  $\pm 20$  % du volume.

De plus, et particulièrement dans les Pins de Sologne, les souches pourrissent et disparaissent en quelques années.

Cette méthode, très élégante, ne peut donc renseigner que sur la dernière éclaircie et d'une façon assez imprécise. Disons qu'elle permet, dans les conditions moyennes de traitement des peuplements solognots d'approcher la production totale, assez largement *par défaut*, jusqu'à environ 35 ans.

Encore, ne s'agit-il que de production utile. Celle disparue du fait de la mortalité naturelle est inconnue. Si on se souvient qu'elle peut atteindre, en cas de mauvaise sylviculture plus de 20 % de la production totale [C. CARBONNIER (9) (10), E. WIEDEMANN (47), J. PARDÉ (26)], on conçoit que les productions tirées de mesures uniques de peuplement ne peuvent donner qu'une évaluation de la production, d'autant plus sous-estimée que le peuplement est plus âgé. L'ordre de grandeur obtenu est d'ailleurs plein d'intérêt, surtout quand on ne dispose d'aucun autre renseignement, car il répond à l'importante question: que peut-on obtenir au moins de telle essence dans telle région? Mais, il ne s'agit que d'un ordre de grandeur. Comme on ignore l'importance et la répartition des erreurs commises, il ne peut être question de faire entrer ces données, dans le calcul, plus ou moins complexe, d'une table de production.

Ajoutons enfin, qu'une enquête chez le propriétaire n'apporte également, quand elle peut être faite, que des ordres de grandeur. Le volume bois-fort enlevé, en admettant qu'il soit connu, l'est pour des unités de gestion parfois importantes. La placette étudiée ne peut être considérée comme l'image exacte des conditions moyennes, régnant sur l'ensemble de l'unité de gestion (Parcelle ou série) qui peut être très hétérogène aussi bien sur le plan écologique que sur le plan forestier.

#### II.2.4 — *Mesure de l'accroissement courant.*

La méthode la plus rigoureuse et la plus simple pour évaluer l'accroissement courant annuel entre les âges  $A$  et  $A + dA$  ( $dA$

pouvant être de l'ordre de 5 ans par exemple) consiste à remesurer entièrement la placette, quelques années après la mesure initiale.

Cela a été fait pour les placettes 7, 8, 9, 10. Cette méthode sera, du reste, employée dans les années à venir pour vérifier et améliorer les tables de production construites à partir de mesures uniques dans chaque placette. Elle demande un certain délai.

Dans certaines placettes pas trop âgées, et malheureusement peu nombreuses, la longueur des cinq derniers verticilles, correspondant à la croissance des cinq dernières années, a pu être mesurée au dendromètre sur tous les arbres de l'échantillon. Leur accroissement en diamètre à 1,30 m a été évalué également par un sondage à la tarière. En admettant, ce qui est plausible, que l'échantillon était déjà représentatif cinq années avant la mesure, on obtient ainsi une évaluation de l'accroissement courant, au moins de certaines caractéristiques.

Par prudence, seul l'accroissement courant en hauteur, ainsi calculé, pour un certain nombre de placettes, a été retenu pour les calculs. L'accroissement en surface terrière et donc en volume étant évalué de façon trop sommaire, semble-t-il, à partir d'un seul sondage par arbre.

Les données obtenues de cette façon figurent dans la colonne  $H_{z-5}$  des tableaux IIIa et IIIb.



Ces placettes temporaires constituent en fait le seul matériel de base suffisamment abondant et bien réparti, sur lequel pouvait s'appuyer la construction de tables de production. La méthode employée devait donc tenir compte de l'information limitée fournie par ces placettes.

### III — Exposé des méthodes.

#### III.1 — *Impossibilité d'application des méthodes classiques.*

Les méthodes classiques ne peuvent être utilisées. La plupart d'entre elles s'appuient sur l'étude de nombreuses placettes permanentes, observées pendant plusieurs décennies: ces placettes nous font défaut. D'autres utilisent des lois dendrométriques parfaitement valables, mais dont la principale suppose connue la production totale depuis l'origine, en fonction de la hauteur (moyenne ou dominante). Cette production totale est pratiquement impossible à évaluer dans nos placettes temporaires dont « l'histoire » nous reste inconnue. Les principales tables de ce type, celles de HUMMEL et CHRISTIE (18) ont été d'ailleurs construites uniquement à partir de placettes permanentes.

Les méthodes empiriques, elles, supposent en fin de compte la mise en table des moyennes d'observations faites dans de nombreuses placettes temporaires, toutes supposées peu différentes d'un état moyen ou « état normal » correspondant au régime d'éclaircie présenté dans la table. Ces méthodes s'appliquent particulièrement bien aux peuplements quasi-vierges d'Amérique du Nord [BRUCE et SCHUMACHER (6) - Nombreuses tables de production] ou à des peuplements traités de façon voisine par leurs propriétaires en raison de causes objectives astreignantes (peuplements de montagne, peuplements de pins maritimes, cultivés pour le gemmage) [M. CANTIANI et G. BERNETTI (7) (8)].

Ce n'est le cas ni des peuplements solognots ni d'un grand nombre de peuplements artificiels d'essences diverses traités en France. La diversité des propriétaires et souvent leurs différences marquées de niveau technique, expliquent qu'on se trouve devant une gamme très étendue de traitements. La densité des peuplements est extrêmement variée. Rares sont ceux qui sont comparables. L'état normal, s'il reste définissable, ne correspond pas à la majeure partie des peuplements étudiés.

Les méthodes exposées ci-dessous s'appuient au contraire sur cette variété des traitements elle-même, ainsi que sur des lois empiriques très connues et communément admises par les Stations de Recherches.

### III.2 — Méthodes utilisées.

#### III.2.1 — Choix d'un indicateur de fertilité.

##### III.2.1.1 — Définition.

Nous appellerons *production*, le volume total de bois fort (bois de circonférence supérieure ou égale à 22 cm) produit à l'hectare. La *fertilité* d'une station sera la capacité de production de cette station.

Cette capacité de production change avec l'âge des peuplements; la fertilité devra donc être définie comme la capacité de production à un âge de référence déterminé. On choisit souvent pour les résineux 50 ans. C'est l'âge que nous avons également retenu.

La multiplicité des facteurs de production [VINEY (46)] rend, bien sûr, cette notion délicate à préciser. Parmi les facteurs de production, nous considérerons ce qu'on appelle communément les facteurs naturels (sol, climat, essence) par opposition à ceux qui sont modifiables au cours de la vie du peuplement par la volonté du sylviculteur (modes de traitement). La fertilité naturelle considérée sera la fertilité actuelle\* de la station au sens où l'entend

\* Aktuelle Standortsgüte.

WIEDEMANN (47) par opposition à la fertilité potentielle, notion beaucoup moins bien définie.

Cette fertilité naturelle et actuelle correspond aux conditions présentes de la production: état du sol, espèce utilisée, et même plus précisément races ou provenances de cette espèce. On sait, en effet, que le seul emploi d'une « bonne race », au lieu d'une mauvaise, peut augmenter sensiblement la production d'une même Station.

Si une ou plusieurs de ces conditions changent, la « fertilité » de la station change également. Soulignons donc que le classement des stations d'après leur fertilité n'est pas immuable. La fertilité peut se dégrader. Elle peut aussi être augmentée par des techniques convenables (drainages, fertilisation, emploi de plants sélectionnés, etc...).

Une table de production décrit des conditions moyennes. Elle suppose qu'une espèce, le Pin Sylvestre par exemple, a un comportement régional suffisamment défini pour être décrit et pour la distinguer d'autres espèces. La distinction de classes de fertilité doit permettre de rendre compte grossièrement — mais suffisamment pour la pratique sylvicole — des différences de production dues à l'interaction de facteurs très divers et plus ou moins bien connus tels que l'exposition, le degré d'évolution du sol, la race, etc...

*Un indicateur de fertilité* sera une caractéristique du peuplement, assez simple à mesurer, permettant d'évaluer la fertilité naturelle actuelle de la station pour l'espèce étudiée.

### III.2.1.2 — *La hauteur comme indicateur de fertilité.*

Nous réservant de discuter plus loin quelle « hauteur » il convient de retenir, nous admettrons, avec un grand nombre d'auteurs, que la croissance en hauteur est un bon critère de fertilité. Cela suppose:

— que la croissance en hauteur est pratiquement indépendante du mode de traitement.

— que la production totale d'un peuplement est étroitement liée à sa hauteur.

Bien que la première condition soit discutée par certains [ASSMANN (3), WIEDEMANN (47)], il semble établi que ce facteur est *le moins* influencé par l'homme et qu'il peut donc caractériser le mieux l'influence du milieu naturel sur un matériel végétal donné. Il semble même à peu près admis que pour des peuplements fermés, éclaircis sans excès, les différences dues au mode de traitement soient *très faibles*.

La seconde condition s'exprime dans la loi dite « de Eichhorn élargie » qui se résume ainsi: « *La production totale d'un peuple-*

ment est fonction de sa seule hauteur ». La relation entre production et hauteur n'est bien sûr unique que dans une région climatique suffisamment homogène et pour une espèce déterminée. De plus, elle n'est qu'approchée. Notons qu'elle a été vérifiée dans de nombreux pays, pour les essences les plus variées et qu'elle sert de base à la construction de plusieurs tables de production [ETTER (16), MOOSMAYER (25), SCHÖBER (40), KRAMER (21), HUMMEL et CHRISTIE (18)].

Ces deux conditions impliquent que la production totale d'un peuplement est très peu influencée par le mode de traitement. Cette proposition est d'ailleurs reconnue pour vraie, dans un large éventail de mode d'éclaircies [J. PARDÉ (26), C. CARBONNIER (10), WIEDEMANN (47), etc...].

Nous définirons, à la manière des forestiers américains, un indice de station I [BRUCE et SCHUMACHER (6), CHAPMAN et MEYER (24) ...]. Cet indice sera ici la hauteur  $H_g$  atteinte par le peuplement à 50 ans. On regroupera les peuplements en classes de fertilité, les classes successives correspondant à des indices échelonnés de 3 m en 3 m.

Seul le principe d'une invariance approchée de la croissance en hauteur sera utilisé. Les résultats obtenus permettront, au contraire, de vérifier la validité de la loi de Eichhorn élargie.

### III.2.2 — Etude du peuplement principal.

Trois relations fondamentales suffisent à définir l'état et l'évolution du peuplement principal et des éclaircies. Ces relations peuvent être établies à partir des seules données mesurées dans les placettes sans aucune hypothèse supplémentaire.

— La première définit l'évolution de la hauteur moyenne\* en fonction de l'âge. Elle dépend étroitement de la fertilité de la station. Si cette fertilité est définie par un indice I, on disposera d'un ensemble de relations :

$$H_g = f(A, I) \quad (1)$$

Cet ensemble de relations correspond à un faisceau de courbes  $H_g = f(A, I)$  dont chacune correspond à une fertilité d'indice I donné.

— La seconde relation définit l'évolution de la circonférence moyenne à 1,30 m, en fonction d'un certain nombre de paramètres.

$$C_g = g(H_g, N, A, X_1, X_2 \dots) \quad (2)$$

\* Hauteur moyenne  $H_g$  et hauteur dominante  $H_0$  sont en fait étroitement liées par une relation linéaire qui sera donnée plus loin et peuvent servir indifféremment dans le raisonnement suivant.

Certains paramètres sont évidents,  $H_g$ ,  $N$ ,  $A$ . Ils peuvent suffire à exprimer  $C_g$  avec une approximation suffisante. D'autres peuvent être nécessaires. Ainsi, pourrait-on imaginer de faire intervenir le nombre d'éclaircies ou le nombre d'années écoulées depuis la dernière éclaircie, ou toute autre variable connue,  $X_1$ ,  $X_2$ , ...  $X_n$ . L'utilisation de la relation (2) en serait seulement compliquée. La suite du raisonnement serait inchangée dans la mesure où ces variables ne seraient fonction que du temps ( $A$ ), et de la hauteur ( $H_g$ ), étant entendu que leur variation en fonction de  $A$  et de  $H_g$  peut être fixée par la volonté du sylviculteur. Nous supposerons ci-dessous,  $C_g$  bien défini par  $H_g$ ,  $N$  et  $A$ .

— La troisième relation définit un tarif de cubage à deux entrées, donnant le volume de la tige moyenne ( $V_g$ ) en fonction de la hauteur moyenne et de la circonférence moyenne.

$$V_g = h(H_g, C_g) \quad (3)$$

Deux de ces relations caractérisent la dynamique de l'essence dans la région étudiée, en fonction de la fertilité des stations [(1) et (2)]. La troisième est une « équation-tarif » décrivant la forme moyenne des tiges.

En plus de ces relations, supposées établies, nous nous fixerons le régime d'éclaircie: soit  $N$  le nombre d'arbres du peuplement principal à l'âge  $A$  et pour une fertilité donnée. Cela revient à définir, pour une fertilité donnée,  $N$  en fonction de  $H_g^*$ .

$$N = i(H_g) \quad (4)$$

Le peuplement principal est alors parfaitement décrit.

$H_g$  étant donné à l'âge  $A$  par la relation (1) et  $N$  étant fixé par la relation (4), la relation (2) donne  $C_g$  et la relation (3) donne  $V_g$ . Il est simple d'en déduire  $G$  qui dépend de  $C_g$  et de  $N$ , ainsi que  $V = N.V_g$ .

On remarquera que le type d'éclaircie est ici parfaitement arbitraire. Sous la seule condition de rester dans les limites de l'observation des peuplements réels, donc dans le domaine de validité des relations (1), (2) et (3), on peut faire varier le régime d'éclaircie et chaque fois décrire l'évolution des caractéristiques du peuplement principal. Nous nous appuyerons sur cette remarque et sur les principes retenus au départ pour l'étude des éclaircies.

\* Il sera discuté ailleurs de savoir si une seule relation (4) peut valablement définir le régime d'éclaircie pour l'ensemble des classes de fertilité.



III.2.3 — *Etude des éclaircies.*III.2.3.1 — *Définition.*

Les éclaircies seront définies par :

— Les âges d'intervention, qui précisent le *rythme* des éclaircies. Pour une même classe de fertilité ces âges correspondent à des hauteurs d'intervention.

— Le nombre d'arbres laissés sur pied au moment de l'éclaircie, et par conséquent le nombre d'arbres enlevés. On précisera ainsi l'*intensité* de l'éclaircie.

— Le rapport du volume moyen  $v_m$  de l'arbre enlevé, au volume  $V_g$  de l'arbre moyen du peuplement sur pied *avant éclaircie*. J. DELVAUX (14) propose l'utilisation d'un rapport analogue pour caractériser l'éclaircie, mais il fait le rapport de  $v_m$  au volume  $V'_g$  de l'arbre moyen du peuplement sur pied *après éclaircie*. Nous avons choisi d'utiliser ce rapport avant éclaircie afin de faciliter les cal-

culs, comme cela apparaîtra plus loin. Ce rapport  $\frac{v_m}{V_g}$  caractérise

la *nature* de l'éclaircie. Pour un même nombre d'arbres enlevés, disons pour une même intensité d'éclaircie, l'opération se fera d'au-

tant plus dans l'étage dominant que le rapport  $\frac{v_m}{V_g}$  sera plus élevé

(éclaircie par le haut). Inversement, le rapport sera plus petit si on enlève surtout des arbres dominés (éclaircie par le bas).

Rappelons enfin, que nous supposons que l'éclaircie ne modifie pas la croissance en hauteur.  $H_g$  peut cependant subir de brusques variations, d'ordre « technique », au moment de l'éclaircie, du fait qu'on enlève des arbres dont la hauteur moyenne n'est pas forcément égale à  $H_g$ . Pour une intensité d'éclaircie donnée, il existe cependant un mode d'éclaircie théorique qui ne modifie pas  $H_g$ . Nous étudierons d'abord ce cas, puis le cas plus général où  $H_g$  n'est pas constant.

III.2.3.2 —  $H_g$  reste constant.

Il résulte des relations (1), (2) et (3) que, pour une classe de fertilité donnée et un nombre d'arbres sur pied fixé, les caractéristiques de  $V$  et  $G$  du peuplement sont fonctions de  $H_g$ .

Il est même raisonnable de supposer ces fonctions continues et croissantes et leurs courbes représentatives situées comme le montre la figure 2, pour  $V$  ( $H_g, N$ ) et si  $N_1 > N_2 > N_3$ .

Le contour  $M, M_1, M_2, M_3, M_4, M_5$  représente alors l'évolution du peuplement principal dans le régime d'éclaircie qui enlève  $n = N_1 - N_2$  arbres et  $v = (V_1 - V_2)m^3$  à l'âge  $A$  (pour une

hauteur  $H_g$ ), puis  $n' = N_2 - N_3$  arbres et  $v = V'_2 - V'_3$ )  $m^3$  à l'âge  $A'$ , etc... On constate que dans ce modèle théorique, l'invariance de  $H_g$  entraîne que l'intensité de l'éclaircie fixe sa nature, puisque à l'âge  $A$ :

$$\frac{v_m}{V_g} = \frac{N (V_1 - V_2)}{n \cdot V_1}$$

L'évolution du peuplement après éclaircie est décrite par les points  $M_2 (V_2, H_g, N_2)$ ;  $M_4 (V'_3, H'_g, N_3)$ , etc...

L'évolution de la production totale en fonction de la hauteur, dans ce régime d'éclaircie, est représentée par la courbe  $M, M_1, M', M''$  ou les branches  $M_1, M'$  et  $M_2, M_3$  d'une part,  $M' M''$  et  $M_4 M_5$  d'autre part, se déduisent les unes des autres par une translation parallèle à l'axe des  $V$ .

La vérification de la « Loi de Eichhorn élargie » suppose alors remplies deux conditions:

— Les courbes  $N_1, N_2, N_3$ , etc... de la figure 2 doivent se déduire les unes des autres par translation parallèle à l'axe des  $V$ . Cette condition rend la loi vraie pour une classe de fertilité donnée.

—  $V$  doit pouvoir s'exprimer indépendamment de l'âge  $A$ . Cela suppose que la relation (2) ne contient pas  $A$  comme variable significative.

### III.2.3.3 — $H_g$ ne reste pas constant.

C'est le cas général. Ces variations « techniques » de la hauteur moyenne expliquent qu'on ait défini des hauteurs dominantes, beaucoup plus stables [KRAMER (22), PARDÉ (28), RÄTZEL (37), HUMMEL et CHRISTIE (18)].

Dans ce cas, le raisonnement précédent reste valable pour l'essentiel (voir figure 2). A l'âge  $A$ , le peuplement de volume  $V_1 (H_g, N_1)$  subit une éclaircie définie par  $N_1 - N_2 = n$  arbres enlevés qui correspondent à un volume  $v = V_1 - U$  défini à l'avance par

le rapport  $\frac{v_m}{V_g}$  et tel que  $\frac{v_m}{V_g} = \frac{N (V_1 - U)}{n \cdot V_1}$ .

La hauteur  $H_g$ , à l'âge  $A$ , devient brusquement égale à  $H_{g2}$ . Les volumes successifs du peuplement après éclaircie sont décrits par  $U (A, H_{g2}, N_2)$  puis par  $V (A', H'_{g2}, N_3)$ , etc...

Pour un régime d'éclaircie bien défini, le volume total produit lorsque le peuplement atteint une hauteur  $H_g$  donnée peut être connu sans autre source d'erreur théorique que la plus ou moins grande précision des relations fondamentales (1), (2) et (3).

Cependant, même si les conditions de vérification de la loi de Eichhorn élargie, exprimée ci-dessus (III.2.3.2) sont vérifiées, cette loi ne l'est plus rigoureusement, mais seulement d'une façon d'autant plus approchée que le principe d'invariance de la hauteur est mieux respecté.

On constate donc que, dans tous les cas, la production totale peut être évaluée avec une précision du même ordre que le volume du peuplement principal.

La comparaison des peuplements avant éclaircie et après éclaircie, permet de la même façon de déterminer la surface terrière enlevée et la circonférence moyenne correspondante  $c_e$ .

### III.3 — Méthode de calcul.

La méthode utilisée pour établir les relations fondamentales (2) et (3) est celle des régressions multiples. Il existe peu d'ouvrages en français exposant en détail la théorie de cette méthode de calcul. On peut se reporter aux livres de SNEDECOR (42) ou de PRODAN (36). VESSEREAU (45) en dit quelques mots. Un aperçu de la méthode peut se déduire de l'étude de TOMASSONE (44) sur l'analyse de covariance en supposant que l'effet des traitements est nul.

Sans avoir la prétention de faire la théorie de la méthode, qu'on trouvera dans les ouvrages spécialisés, on se bornera, ci-dessous, à en rappeler quelques aspects utilisés dans la suite du texte.

Considérons le cas simple d'une variable dépendante  $Y$ , fonction de deux variables indépendantes  $X_1$  et  $X_2$ . On connaît  $n$  mesures concomitantes de ces trois variables, qu'on considère comme des échantillons tirés au hasard des populations normales  $Y_1, X_{11}, X_{21}$ .

Le modèle utilisé est linéaire :

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2. \quad (a)$$

La linéarité est en fonction des coefficients  $b$  — et on peut donc remplacer les variables  $X$  par toute fonction de  $X$ .

Si on définit des variables  $x_1, x_2$  et  $y_1$ , telles que\* :

$$\begin{aligned} y &= Y - \bar{Y} & \text{avec} & & \bar{Y} &= \frac{\sum Y}{n} \\ x_1 &= X_1 - \bar{X}_1 & & & \bar{X}_1 &= \frac{\sum X_1}{n} & \text{(toutes les som-} \\ & & & & & & \text{mations seront faites de} \\ & & & & & & \text{j = 1 à j = n).} \\ x_2 &= X_2 - \bar{X}_2 & & & \bar{X}_2 &= \frac{\sum X_2}{n} \end{aligned}$$

\* Les symboles sont ceux utilisés par SNEDECOR (42), p. 413.

L'application de la méthode des moindres carrés revient à définir  $b_0$  par l'équation :

$$b_0 = \bar{Y} - (b_1 \bar{X}_1 + b_2 \bar{X}_2) \quad (b)$$

et les coefficients  $b_1$  et  $b_2$  par le système d'équations normales :

$$\begin{aligned} b_1 \sum x_1^2 + b_2 \sum x_1 x_2 &= \sum x_1 y \\ b_1 \sum x_1 x_2 + b_2 \sum x_2^2 &= \sum x_2 y. \end{aligned}$$

La somme des carrés des écarts totale  $\sum y^2$  peut être considérée comme la somme des carrés due à la régression  $\sum \hat{y}_{1,2}^2$  à laquelle s'ajoute la somme des carrés résiduelle  $\sum d.y_{1,2}^2$  qui chiffre l'erreur.

$$\sum y^2 = \sum \hat{y}_{1,2}^2 + \sum d.y_{1,2}^2 \quad (d)$$

avec :

$$\sum \hat{y}_{1,2}^2 = b_1 \sum x_1 y + b_2 \sum x_2 y \quad (e)$$

On peut alors, en comparant par un test F,  $\sum \hat{y}_{1,2}^2$  (avec 2 degrés de liberté) et  $\sum d.y_{1,2}^2$  (avec  $n-1-2$  degrés de liberté), estimer si  $b_1$  et  $b_2$  diffèrent de 0 de façon significative à un niveau de probabilité donné.

Mieux, on peut également tester dans quelle mesure l'utilisation de la variable  $X_2$  améliore l'estimation de  $Y$  faite à partir de la seule variable  $X_1$ . Pour cela, on calcule  $\sum \hat{y}_1^2$  (pour  $X_1$  seule) et on la soustrait à  $\sum \hat{y}_{1,2}^2$ . La différence donne « l'apport de  $X_2$  », qu'on compare à la somme résiduelle par un test F. (voir des exemples, tableaux (1) et (2) page 22).

On définit aussi un coefficient de corrélation multiple :

$$\begin{aligned} R^2_{y_{1,2}} &= \frac{\sum \hat{y}_{1,2}^2}{\sum y^2} \\ R^2_{y_{1,2}} &= \frac{b_1 \sum x_1 y + b_2 \sum x_2 y}{\sum y^2} \end{aligned}$$

qui a l'avantage de mesurer la part de la régression dans la variation totale de la variable dépendante. Plus ce coefficient est voisin de 1, plus  $\sum d.y_{1,2}^2$  est plus petit et plus la liaison est étroite.

On peut étendre ces résultats à  $p$  variables :  $X_1, X_2 \dots X_p$  en calculant de la même façon un  $R^2$  qui mesure la précision et permet le calcul d'un écart-type. On peut également tester l'apport de chaque variable par des tests F.

Cette méthode permet donc de calculer des équations correspondant aux relations (2) (3) et d'avoir une estimation valable de leur précision. Toutefois, l'appréciation de l'erreur ainsi faite, ne renseigne que sur l'erreur absolue. Il est intéressant de connaître aussi la répartition des erreurs relatives. Nous avons étudié pour chaque relation calculée les erreurs relatives selon la méthode exposée par ARBONNIER (2) pour le contrôle des tarifs de cubage.

On compare les valeurs calculées de  $Y$ , soit  $\hat{Y}_i$  aux valeurs observées  $Y_i$  pour  $n$  éléments d'observation ayant servi à l'établissement de l'équation. On calcule les  $n$  valeurs correspondantes de l'erreur relative\* :

$$\epsilon_i = \frac{\hat{Y}_i - Y_i}{Y_i}$$

puis la variance des  $\epsilon_i$ , soit  $S_{\epsilon}^2$

la moyenne :  $\bar{\epsilon}$

la variance de la moyenne :  $S_{\bar{\epsilon}}^2$

On vérifie alors :

1° Que  $\bar{\epsilon}$  ne diffère pas de 0 de façon significative (test  $t$ )

2° Que la répartition des  $\epsilon_i$  est normale. Contrôle facile à faire par la méthode graphique mise au point par TOMASSONE (43).

Ces deux conditions expriment l'absence de biais et la valeur de  $S_{\epsilon}$  chiffre l'erreur-type relative. Les résultats de ces contrôles figurent au chapitre suivant.

La relation fondamentale (1) n'est malheureusement pas justifiable de ces méthodes. En effet,  $I$  n'est pas connu directement pour chaque placette puisqu'il est, par définition, une fonction implicite de  $H_g$  et de  $A$ . L'ajustement d'un faisceau de courbes au nuage de points  $(A_i, H_{gi})$  pose un problème qui sera traité plus loin.

#### III.4 — Moyens de calcul.

Une partie des calculs a été effectuée au bureau par notre calculateur, M. QUILLE, notamment les régressions les plus simples. Les régressions multiples à un grand nombre de variables, ou avec transformation des variables ont été confiées à la Station de Biométrie du C.N.R.F. (M. TOMASSONE) qui a effectué les calculs sur ordinateur I.B.M. 650 et I.B.M. 1 620. Enfin, les tables elles-mêmes ont été calculées, toujours par la Station de Biométrie, sur calculatrice C.A.B. 500.

\* Notons que ce contrôle peut être fait à titre de vérification pour l'erreur absolue également.

## IV — Construction des tables.

## IV.1 — Calcul des équations fondamentales (2) et (3).

Après divers essais, on a retenu les variables suivantes :

— L'âge  $A$ .

— Les hauteurs  $H_g$  et  $H_o$  définies plus haut, et également, dans le cas des Pins Laricios uniquement, une seconde hauteur dominante  $H'_o$ . Cette hauteur, lue sur les mêmes courbes que  $H_g$  et  $H_o$  est celle de l'arbre de surface terrière moyenne des 20 % plus gros arbres du peuplement.

—  $N$  étant le nombre d'arbres à l'hectare, c'est la nouvelle variable — qui apparaît dans les équations. Notons que cette quantité a une signification concrète. Elle mesure (en  $m^2$ ) la surface moyenne dont dispose chaque arbre pour son développement. Elle exprime donc la *concurrence* vitale.

— Le volume à l'hectare  $V$  a été de plus relié directement aux variables ci-dessus, afin d'apprécier leur effet sur sa définition.

— Les variables  $V_g$  et  $C_g$ , déjà définies, interviennent, bien sûr, comme variables dépendantes.

IV.1.1 — Liaisons  $H_g$ ,  $H_o$ ,  $H'_o$ .

Ces variables sont étroitement liées par des relations linéaires.

— Pour les Pins Laricios :

$$H_o = 3,03 + 0,953 H_g \quad R^2 = 1,974; S = 0,71$$

$$H'_o = 2,08 + 0,994 H_g \quad R^2 = 0,978; S = 0,67$$

— Pour les Pins Sylvestres :

$$H_o = 1,89 + 0,976 H_g \quad R^2 = 0,983; S = 0,71$$

Ces résultats laissent prévoir que pour la suite des calculs une seule variable représentant la hauteur sera sans doute nécessaire.

## IV.1.2 — Autres liaisons.

Un premier essai a montré que  $V_g$ ,  $V$ ,  $C_g$  étaient mieux définis par  $H_g$  que par  $H_o$  ou  $H'_o$ . Aucun avantage non plus n'est apparu en traitant séparément les placettes telles que :

$$N \leq 500$$

$$N \leq 1\,000.$$

On trouvera, ci-dessous, les résultats obtenus après tri des meilleures variables.

IV.1.2.1 — *Pin Sylvestre.*

A) Liaisons  $V$  ( $m^3$ );  $C_g$  (cm);  $H_g$  (m);  $\frac{10^4}{N}$ ;  $A$  (Années) sans transformation.

$$(1) C_g = 1,687 + 2,473 H_g + 1,360 \frac{10^4}{N} + 0,133 A; R^2 = 0,974 \quad S = 4,27$$

$$(2) C_g = 1,820 + 2,805 H_g + 1,389 \frac{10^4}{N}; R^2 = 0,973 \quad S = 4,34$$

$$(3) V = 164,542 + 28,046 H_g - 6,318 \frac{10^4}{N} + 0,181 A; R^2 = 0,916 \quad S = 35,3$$

TABLEAU I  
EFFET DES VARIABLES

Origine de la variation	d.l	Somme des carrés		Carré moyen		F*	
		LN (C)	LN (V)	LN (C)	LN (V)	LN (C)	LN (V)
Régression entre LN (A), LN (H) et LN ( $10^4/N$ )	3	14,27170	24,24544			1 210,40	465,83
Perte due à l'absence de							
LN (A)	1	0,00172	0,03302			<u>0,44</u>	<u>1,90</u>
LN (H)	1	0,71368	8,38677			181,58	483,4
LN ( $10^4/N$ )	1	1,22312	2,18872			311,20	126,16
Résiduelle	99	0,38910	1,71757	0,0039303	0,017349		

B) Liaisons  $V$ ;  $C_g$ ;  $H_g$ ;  $\frac{10^4}{N}$ ;  $A$ , avec transformation logarithmique\*\*:

$$(4) LN (C_g) = 1,670761 + 0,6013895 LN (H_g) + 0,2989190 LN \left( \frac{10^4}{N} \right) + 0,023834 LN (A)$$

$$R^2 = 0,973$$

\* Les valeurs soulignées de deux traits ne sont pas significatives au seuil de probabilité 5 %, celles soulignées d'un trait ne le sont pas au seuil de 1 %. Les autres sont significatives.

\*\* LN (x) = Logarithme népérien de x.

$$(5) \text{ LN } (V) = 0,1618254 + 2,061589 \text{ LN } (H_g) - 0,3998658 \text{ LN } \left(\frac{10^4}{N}\right) + 0,1043735 \text{ LN } (A)$$

$$R^2 = 0,934$$

 TABLEAU II  
 EFFET DES VARIABLES

Origine de la variation	d.l.	Somme des carrés		Carré moyen		F*	
		C	V			C	V
Régression en $A, H_g, 10^4/N$ Perte due à l'absence de	3	68 258,90	1 344 267			1 249,47	359,36
A	1	109,55	205			6,02	0,16
$H_g$	1	3 291,36	423 289			180,74	339,47
$10^4/N$	1	5 960,30	128 552			327,31	103,10
Résiduelle	99	1 802,80	123 445	18,210	1 246,92		

C) Liaisons  $V_g$  ( $dm^3$ );  $H_g$  (m);  $C_g$  (cm) Polynôme de degré 3.

$$(6) V_g = 286,5679 - 13,00 H_g - 11,7870 C_g + 0,1760 H_g^2 + 0,5080 H_g C_g + 0,1119 C_g^2 - 0,06095 H_g^3 + 0,015836 H_g^2 C_g + 0,00117 H_g C_g^2 - 0,000753 C_g^3$$

$$R^2 = 0,998$$

$$S = 15,8$$

 TABLEAU III  
 EFFET DES VARIABLES

Origine de la variation	Somme des carrés	d.l.	Carré moyen	F*
Régression polynomiale Perte due à l'absence de terme en	13 455 023	9		5 937,87
H	253	1		1,00
C	4 918	1		19,53
$H^2$	3	1		/
HC	218	1		/
$C^2$	900	1		3,57
$H^3$	?	1		?
$H^2C$	?	1		?
$HC^2$	23	1		/
$C^3$	458	1		1,82
Résiduelle	23 415	93	251,774	

D) *Liaisons*  $V_g$ ,  $H_g$ ,  $C_g$  - après transformation logarithmique.

(7)  $\text{LN } V_g = -5,337574 + 1,033314 \text{ LN } (H_g) + 1,901515 \text{ LN } (C_g)$

$$R^2 = 0,990$$

TABLEAU IV  
EFFET DES VARIABLES

Origine de la variation	Somme des carrés	d.l.	Carré moyen	F <sup>*</sup>
Régression en LN (H) et LN (C)	108,3069	2		5 160,08
Perte due à l'absence de LN (H)	1,2696	1		120,97
LN (C)	6,3108	1		601,33
Résiduelle	1,0495	100	0,010495	

IV.1.2.2 — *Pin Laricio de Corse.*A) *Liaisons*  $V$  ( $m^3$ );  $C_g$  (cm);  $H_g$  (m);  $\frac{10^4}{N}$ ;  $A$  (années) sans transformation.

(7)  $C_g = 3,208 + 3,057 H_g + 1,290 \frac{10^4}{N} + 0,135 A$ ;  $R^2 = 0,973$   
 $S = 3,82$

(8)  $C_g = 3,248 + 2,259 H_g + 1,261 \frac{10^4}{N}$ ;  $R^2 = 0,972$   
 $S = 3,86$

(9)  $V = 248,843 + 35,832 H_g - 7,721 \frac{10^4}{N} + 0,193 A$ ;  $R^2 = 0,8901$   
 $S = 41,5$

(10)  $V = 248,900 + 36,258 H_g - 7,681 \frac{10^4}{N}$ ;  $R^2 = 0,8900$   
 $S = 41,5$

## EFFET DES VARIABLES

Origine de la variation	Somme des carrés		d.l.	Carré moyen		F*	
	C <sub>g</sub>	V		C <sub>g</sub>	V	C <sub>g</sub>	V
Régression en A, H <sub>g</sub> , 10 <sup>4</sup> /N	33 027,9760	880 465,2	3				
Régression en H <sub>g</sub> , $\frac{10^4}{N}$	32 996,0358	880 399,6	2				
Apport de A	31,9402	65,6	1	31,9402	65,6	<u>2,19</u>	<u>1</u>
Résiduelle	919,6658	108 727,9	63	14,5979	1725,84		
Totale	33 947,6418	989 193,1	66				

B) Liaisons  $V$ ;  $C_g$ ;  $H_g$ ; ———; avec transformation logarithmique\*.

$$(11) \text{LN}(C_g) = 1,669949 + 0,259386 \text{LN}\left(\frac{10^4}{N}\right) + 0,662740 \text{LN}(H_g)$$

$$R^2 = 0,9560$$

$$(12) \text{LN}(V) = 0,207956 - 0,4559085 \text{LN}\left(\frac{10^4}{N}\right) + 2,287346 \text{LN}(H_g)$$

$$R^2 = 0,907$$

C) Liaisons  $V_g$  (dm<sup>3</sup>);  $C_g$  (cm);  $H_g$  (m) - Polynome de degré 3.

$$(13) V_g = 503,1325 - 143,700 H_g + 11,704 C_g + 13,391 H_g^2 - 2,243 H_g C_g + 0,0856 C_g^2 - 0,358 H_g^3 + 0,06044 H_g^2 C_g + 0,008874 H_g C_g^2 - 0,001048 C_g^3$$

$$R^2 = 0,995$$

D) Liaisons  $V_g$ ;  $C_g$ ;  $H_g$  - après transformation logarithmique.

$$(14) \text{LN}(V_g) = - 5,41812 + 1,11773 \text{LN}(H_g) + 1,90542 \text{LN}(C_g)$$

$$R^2 = 0,992$$

\* A ne figure pas ici les résultats précédents étant considéré comme suffisamment démonstratifs.

TABLEAU V  
EFFET DES VARIABLES

Origine de la variation	Somme des carrés	d.l.	Carré moyen	F*
Régression entre $X_1$ et $X_2$	43,96999	2	21,98500	4 023,61
Perte due à l'absence de				
- $X_1$	0,55420	1	0,55420	101,43
- $X_2$	2,39368	1	2,39368	438,08
Résiduelle	0,34971	64	0,005464	-

#### IV.1.3 — Conclusion.

Ces équations appellent plusieurs remarques.

— L'âge A n'a aucune influence significative, ni dans le cas du Pin Sylvestre, ni dans le cas du Pin Laricio de Corse sur V et  $C_x$ . En effet, les valeurs de F ne sont pas significatives au seuil de probabilité 5 % sauf une qui se situe entre 1 % et 5 % [équation (2)]. La comparaison des écarts-types est d'ailleurs très parlante.

— La précision des équations liant directement V à  $C_x$  et  $H_x$  est très inférieure à celle donnant le volume moyen  $V_x$ . Ces calculs mettent cependant en évidence le fait que V est, pour des  $H_x$  et  $C_x$  donnés, indépendant de l'âge.

— Les polynômes du troisième degré sont sans doute bien ajustés, mais les valeurs trouvées pour le  $R^2$ , les coefficients de corrélation partielles et les écarts-types correspondants sont incertaines. En effet, la capacité des machines utilisées ne permet pas de conserver un assez grand nombre de chiffres significatifs dans les calculs.

Cet inconvénient apparaît bien en (IV, 1.2.1 C) où certaines sommes de carrés n'ont pu être évaluées correctement. L'étude directe des écarts entre valeurs vraies et valeurs calculées par l'équation a confirmé le peu de valeur de l'écart-type fourni par la calculatrice.

— La nécessité d'étudier directement les erreurs par la méthode évoquée en (III, 3) est impérative pour les équations logarithmiques si on veut une évaluation des erreurs sur les variables non transformées, et également pour toutes les équations si on veut une évaluation des erreurs relatives.

Les résultats de cette étude figurent dans les tableaux IVa et IVb\*. Les relations fondamentales (3) sont des tarifs à deux entrées

\* Notons que la transformation logarithmique introduit un biais théorique. Cependant, ce biais n'apparaissant pas au seuil 5 %, il n'en a pas été tenu compte.

TABLEAU IV a.  
PIN SYLVESTRE - PIN LARICIO  
PRECISION DES TARIFS - RELATION FONDAMENTALE (3)

N° des équations.	Erreurs absolues (Y.dm <sup>3</sup> )			Erreurs relatives (Σ%)			R <sup>2</sup>
	Ecart-type S.Y	$\bar{Y}$	t*	Ecart-type S <sub>ε</sub>	$\bar{\epsilon}$	t*	
<u>Pin Sylvestre</u>							
Polynôme (6)	34,8 **	4,8	<u>0,72</u>	9,0	1,31	<u>1,04</u>	0,998
Log. (7)	43,0	6,4	<u>0,87</u>	7,0	1,51	<u>1,25</u>	0,990
<u>Pin Laricio</u>							
Polynôme (13)	37,3	-	-	7,5	1,46	<u>1,57</u>	0,995
Log. (14)	49,2	- 7,77	<u>0,92</u>	6,25	- 0,12	<u>0,11</u>	0,992

\*\* Remarquer la différence considérable avec l'écart-type, tiré du carré moyen fourni par la calculatrice : s = 15,8.

TABLEAU IV b.  
PIN SYLVESTRE - PIN LARICIO  
PRECISION DES RELATIONS (2) — C<sub>g</sub> = g (N, H<sub>g</sub>)

N° des équations	Erreurs absolues (Y.cm)			Erreurs relatives (Σ%)			R <sup>2</sup>
	Ecart-type S.Y	$\bar{Y}$	t*	Ecart-type S <sub>ε</sub>	$\bar{\epsilon}$	t*	
<u>Pin Sylvestre</u>							
Sans transf. (2)	4,34	-	-	5,39	- 0,093	<u>0,09</u>	0,973
Log. (4)	3,73	0,051	<u>0,08</u>	5,73	- 1,07	<u>0,110</u>	0,973
<u>Pin Laricio</u>							
Sans transf. (8)	3,86	-	-	4,80	- 0,174	<u>0,64</u>	0,972
Log. (11)	4,13	0,294	<u>0,41</u>	5,32	0,147	<u>0,161</u>	0,956

\* Les valeurs soulignées de deux traits ne sont pas significatives au seuil 5 %.

H et C. Il était donc tentant d'utiliser les tarifs préparés par ARBONNIER (2) pour le Pin Laricio de Corse et également pour le Pin Sylvestre\*. En fait, l'estimation  $V_x$  est impossible à l'aide de ces tarifs, pour  $H^2 > 25$  m, et l'extrapolation tentée fait apparaître un biais, qui obligerait soit à une correction systématique pour ces hauteurs, soit à un changement de tarif. De plus, la précision n'est pas supérieure à celle de la meilleure équation calculée par régression multiple.

— Le choix définitif des équations a tenu compte de la précision obtenue et de la simplicité des formules. Ont été retenues :

- Pour le pin sylvestre, les équations (2) et (7).
- Pour le pin laricio, les équations (8) et (14).

#### IV.2 — Relation fondamentale (1): $H = f(A, I)$

Cette relation caractérise la fertilité. Elle définit pour chaque fertilité une courbe de croissance en hauteur. L'indice de fertilité est la hauteur atteinte à 50 ans. La hauteur utilisée est la hauteur moyenne  $H_x$  puisqu'elle intervient déjà dans les relations (2) et (3) et qu'on peut facilement en déduire la hauteur dominante  $H_0$ .

L'établissement de courbes de ce type, à partir de placettes temporaires, s'appuie sur un certain nombre d'hypothèses que nous avons cherchées à choisir le moins arbitraires possible.

Nous avons admis :

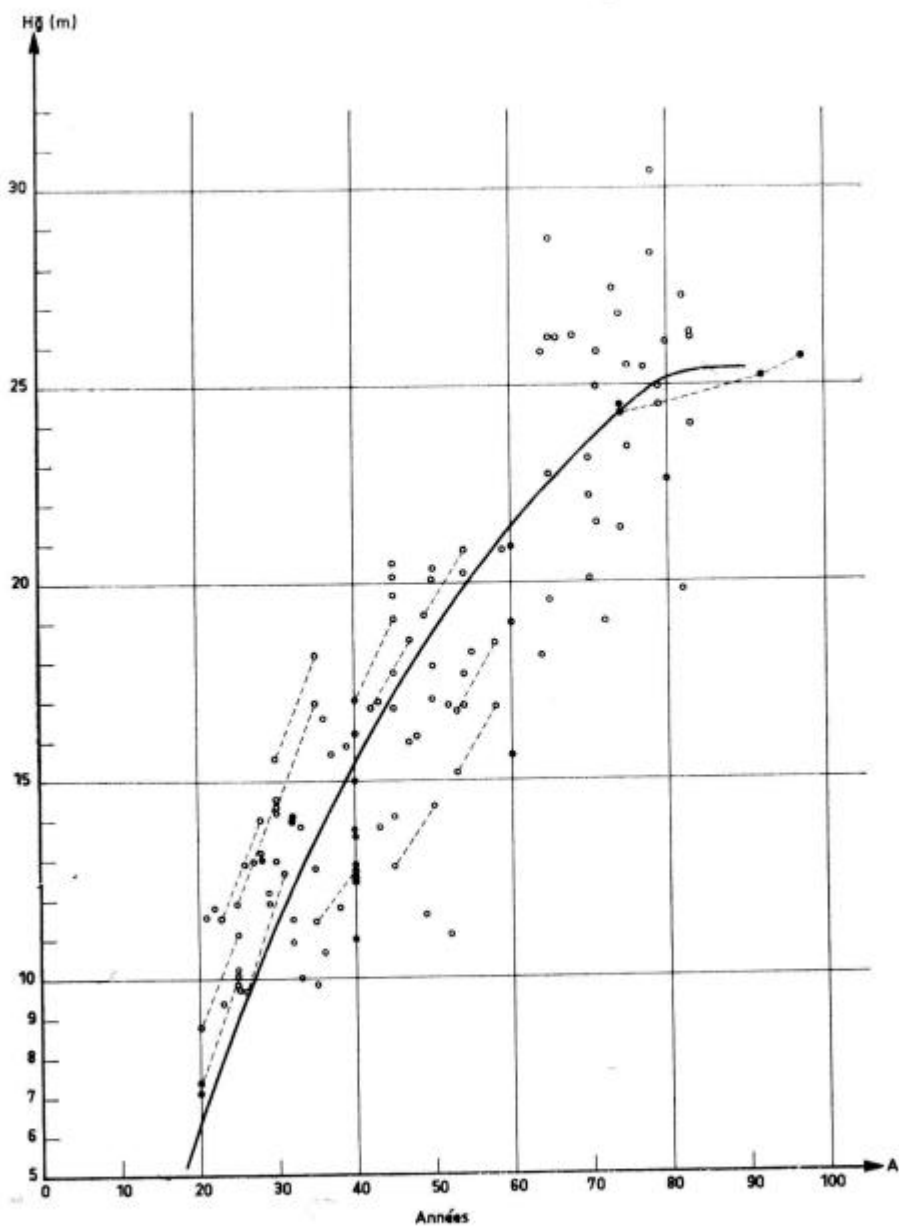
- que la fertilité ne dépend pas de l'âge.
- que la moyenne des données rend compte de la croissance sur une même station de « fertilité moyenne ».
- que les écarts de fertilité aux âges successifs sont exprimés par la dispersion des données autour de la courbe moyenne. Aux différents âges, les courbes de fertilité supérieure (ou inférieures) à la moyenne doivent s'éloigner de la courbe moyenne d'autant plus que la dispersion autour de cette courbe est plus grande.

Ces hypothèses sont discutées et utilisées par plusieurs auteurs [BRUCE et SCHUMACHER (6), CANTIANI et BERNETTI (7)]. Elles comportent une grande part d'arbitraire et constituent certainement le point faible de la méthode que nous avons utilisée.

Les données ont été regroupées par classes d'âges de 10 ans. Les courbes moyennes (fig. 3a et 3b) tiennent compte des points moyens, mais aussi de l'allure du phénomène exprimé par les quelques points « se faisant suite » et reliés les uns aux autres en pointillé sur les graphiques. Ces points proviennent de placettes mesurées deux fois, ou dont la hauteur, 5 ans avant la mesure, a été estimée, ou encore des placettes permanentes. La « forme » de la courbe ainsi appréciée, celle-ci a été étudiée de façon à annuler les écarts des points moyens à la courbe. Cette méthode, relativement subjective, répétée plusieurs fois, donne des résultats assez fidèles.

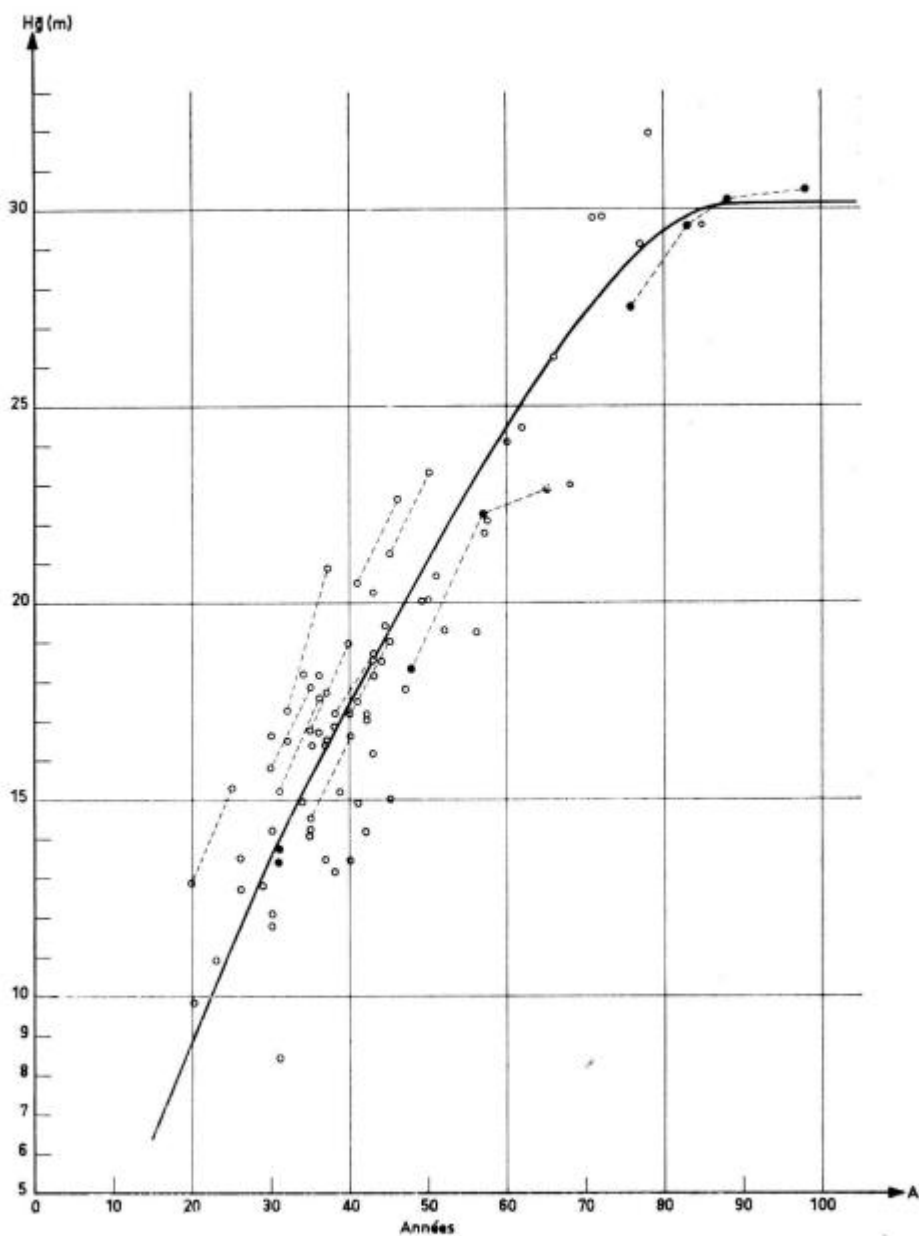
\* Non encore parus.

FIG. 3 a.  
*Pin sylvestre*  
 Croissance en hauteur - Courbe moyenne



- Placettes temporaires
- Placettes permanentes
- ...○ Mesures successives dans une même placette.

FIG. 3 b.  
*Pin laricio*  
 Croissance en hauteur - Courbe moyenne



- Placettes temporaires
- Placettes permanentes
- ...○ Mesures successives dans une même placette.

FIG. 4 a.  
*Pin sylvestre*  
Coefficient de variation de  $H_R$   
[c % = 26,551 - 0,193 A; R<sup>2</sup> = 0,958]

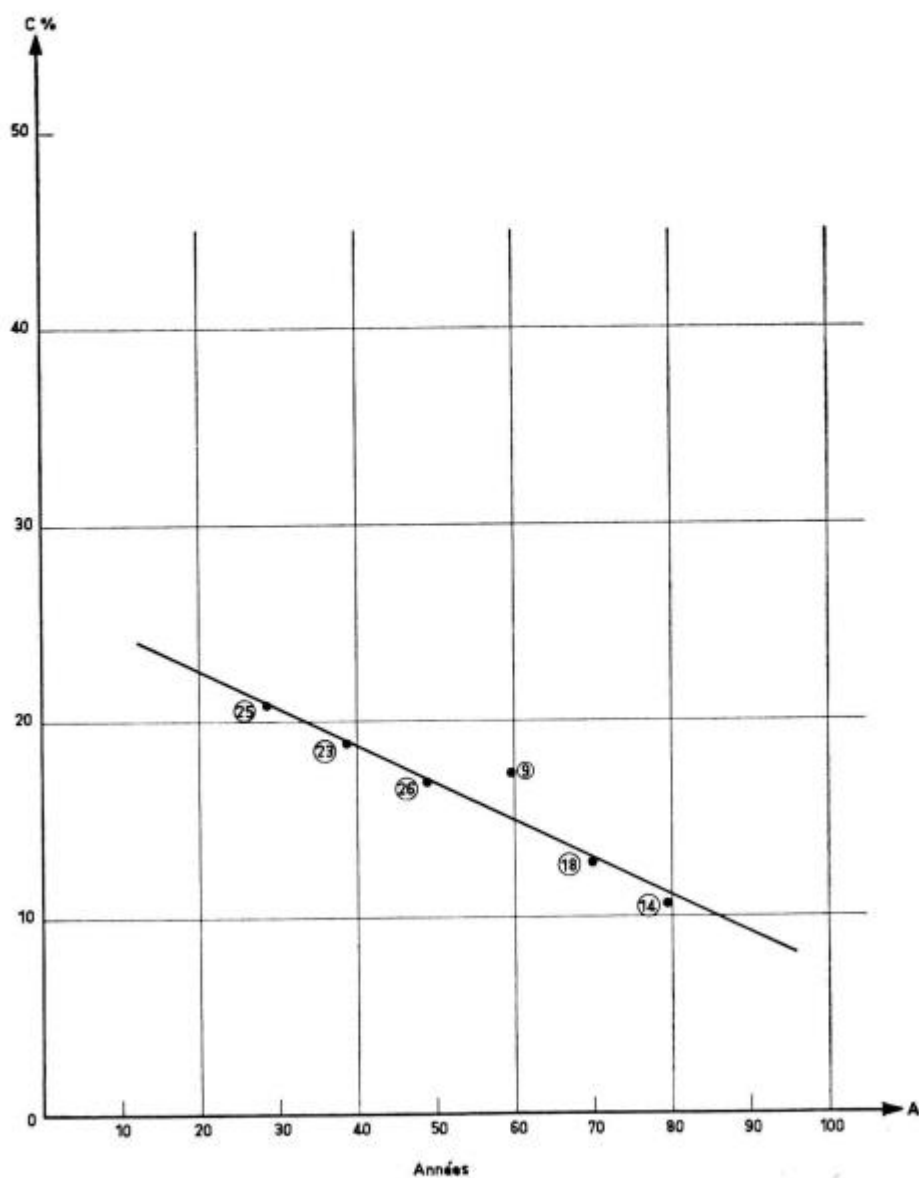


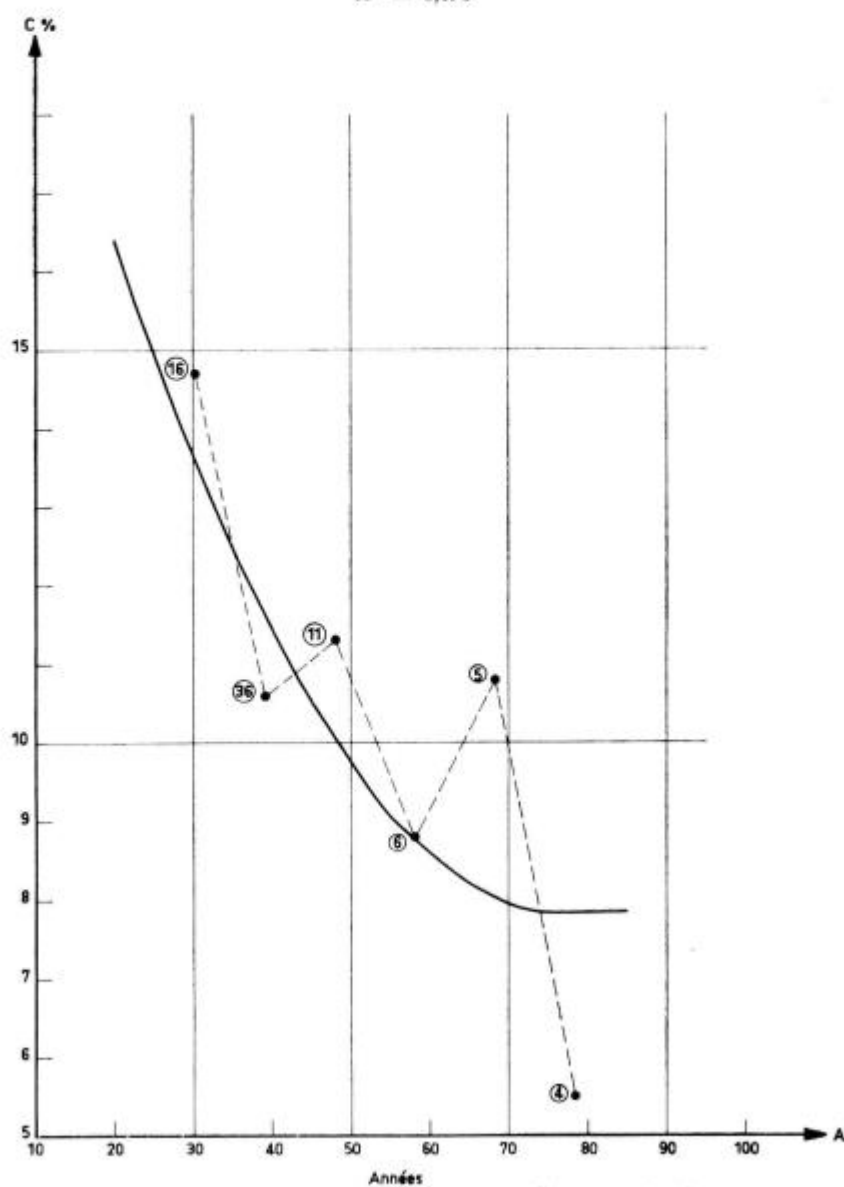
FIG. 4 b.

*Pin laricio*

Coefficient de variation de  $H_g$

$$[C \% = 23,50 - 0,408 A + 0,00266 A^2]$$

$$R^2 = 0,676$$



La somme des carrés des écarts de chaque point à la courbe moyenne a été calculée ensuite ainsi que l'écart-type et le coefficient de variation correspondant  $c$  (Voir à titre d'exemple le tableau V).

Les variations de  $c$  en fonction de  $A$  ont donné lieu au calcul et au tracé des courbes des figures 4a et 4b.

TABLEAU V  
PINS SYLVESTRES  
DISPERSION AUTOUR DE LA COURBE MOYENNE

Déviation par rapport à la courbe $X_1$ (mètres)	Fréquence ( $n_1$ ) par classe d'âge.						
	20	30	40	50	60	70	80
+ 6						1	
+ 5	1		1				1
+ 4	2	1			1	1	
+ 3		9	2	3		4	1
+ 2	2	4	1	2		1	1
+ 1	2	8	4	5		2	5
0		1		2	1	2	1
- 1		1	3	1	1	2	3
- 2			3	5	3	1	
- 3		1	7	3		3	1
- 4			1	3	2		
- 5			1			1	
- 6					1		1
- 7				1			
- 8				1			
Total : N	7	25	23	26	9	18	14
$s^2 = \frac{\sum n_1 X_1^2}{N-1}$	11,17	5,46	7,73	9,96	12,13	8,94	7,0
S	3,3	2,3	2,8	3,1	3,7	3,0	2,7
Age moyen	21,3	28,7	38,7	49,1	59,8	69,9	79,4
Hauteur lue sur la courbe (h)	7,0	11,0	14,8	18,3	21,3	23,5	25,1
Coefficient de variation : $c = \frac{100 S}{h}$	47,1	20,91	18,92	16,94	17,37	12,77	10,76

Si on veut tracer la courbe correspondant à l'indice  $I_0$  et si

$C_A$  est la valeur du coefficient de variation à l'âge A

$C_{50}$  la valeur du coefficient de variation à l'âge de 50 ans

$\hat{H}_{50}$  la hauteur à l'âge 50 ans lue sur la courbe moyenne

$\hat{H}_A$  la hauteur à l'âge A lue sur la courbe moyenne

H la hauteur à l'âge A de la courbe d'indice  $I_0$

ou aura :

$$H = \hat{H}_A \left( 1 + \frac{I_0 - \hat{H}_{50}}{\hat{H}_{50}} \times \frac{C_A}{C_{50}} \right) \quad (1)^*$$

On peut ainsi tracer la courbe point par point.

Inversement, connaissant la hauteur H d'un peuplement à l'âge A, on peut évaluer l'indice  $I_0$  correspondant par la formule :

$$I_0 = \hat{H}_{50} \left( 1 + \frac{H - \hat{H}_A}{\hat{H}_A} \times \frac{C_{50}}{C_A} \right) \quad (2)$$

Les indices de chaque placette figurent dans la dernière colonne des tableaux IIIa et IIIb.

Compte tenu de l'étagement choisi des courbes de fertilité (3 m à 50 ans) et de la dispersion des données, on a distingué 3 classes de fertilité pour le Pin Laricio de Corse et 5 classes de fertilité pour le Pin Sylvestre. Les courbes de fertilité (figures 5a et 5b) correspondent au tableau suivant qui constitue la relation fondamentale n° (1).

Age	Hauteur $H_g$ (mètres)							
	PIN LARICIO			PIN SYLVESTRE				
	Classe I	Classe II	Classe III	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV	Classe V
20	10,1	8,0	5,9	8,8	7,5	6,1	-	-
25	12,8	10,4	7,9	12,4	10,5	8,7	6,8	4,9
30	15,2	12,6	9,9	15,5	13,2	11,0	8,7	6,4
35	17,4	14,6	11,7	18,1	15,6	13,0	10,4	7,9
40	19,3	16,4	13,5	20,4	17,6	14,9	12,1	9,3
45	21,3	18,4	15,3	22,3	19,4	16,5	13,6	10,7
50	<u>23,0</u>	<u>20,0</u>	<u>17,0</u>	<u>24,0</u>	<u>21,0</u>	<u>18,0</u>	<u>15,0</u>	<u>12,0</u>
55	24,8	21,8	18,8	25,6	22,5	19,5	16,4	13,4
60	26,4	23,4	20,3	26,8	23,7	20,7	17,7	14,6
65	28,0	25,0	21,8	27,8	24,8	21,8	18,8	15,8
70	29,4	26,2	23,1	28,7	25,8	22,9	20,0	17,1
75	30,7	27,4	24,1	29,4	26,6	23,9	21,0	18,2
80	31,7	28,3	24,8	29,9	27,2	24,6	21,9	19,3

\* Cette formule exprime que la variation relative de H est proportionnelle au coefficient de variation.

FIG. 5 a.

*Pin sylvestre*

Croissance en hauteur et classes de fertilité.

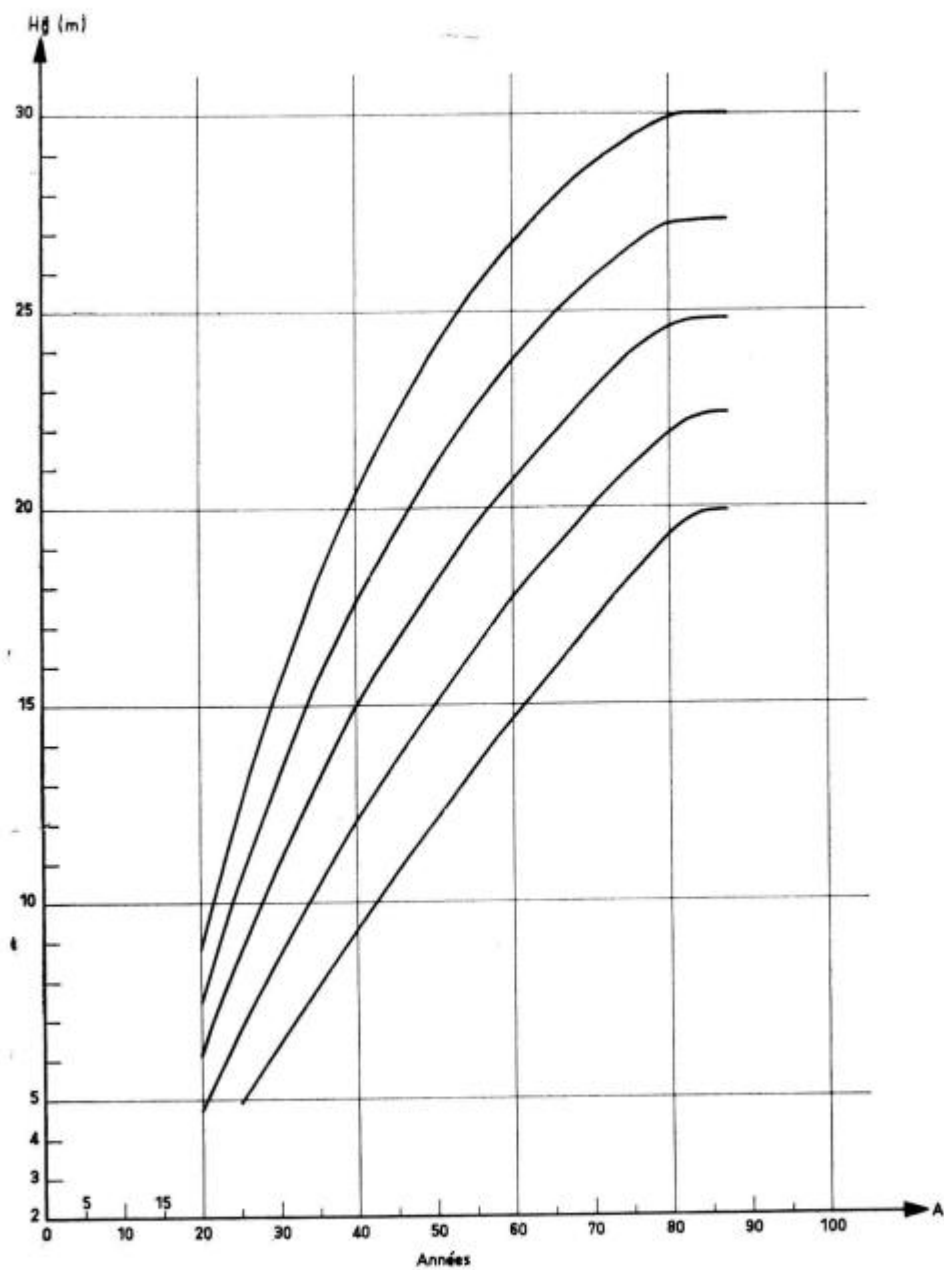
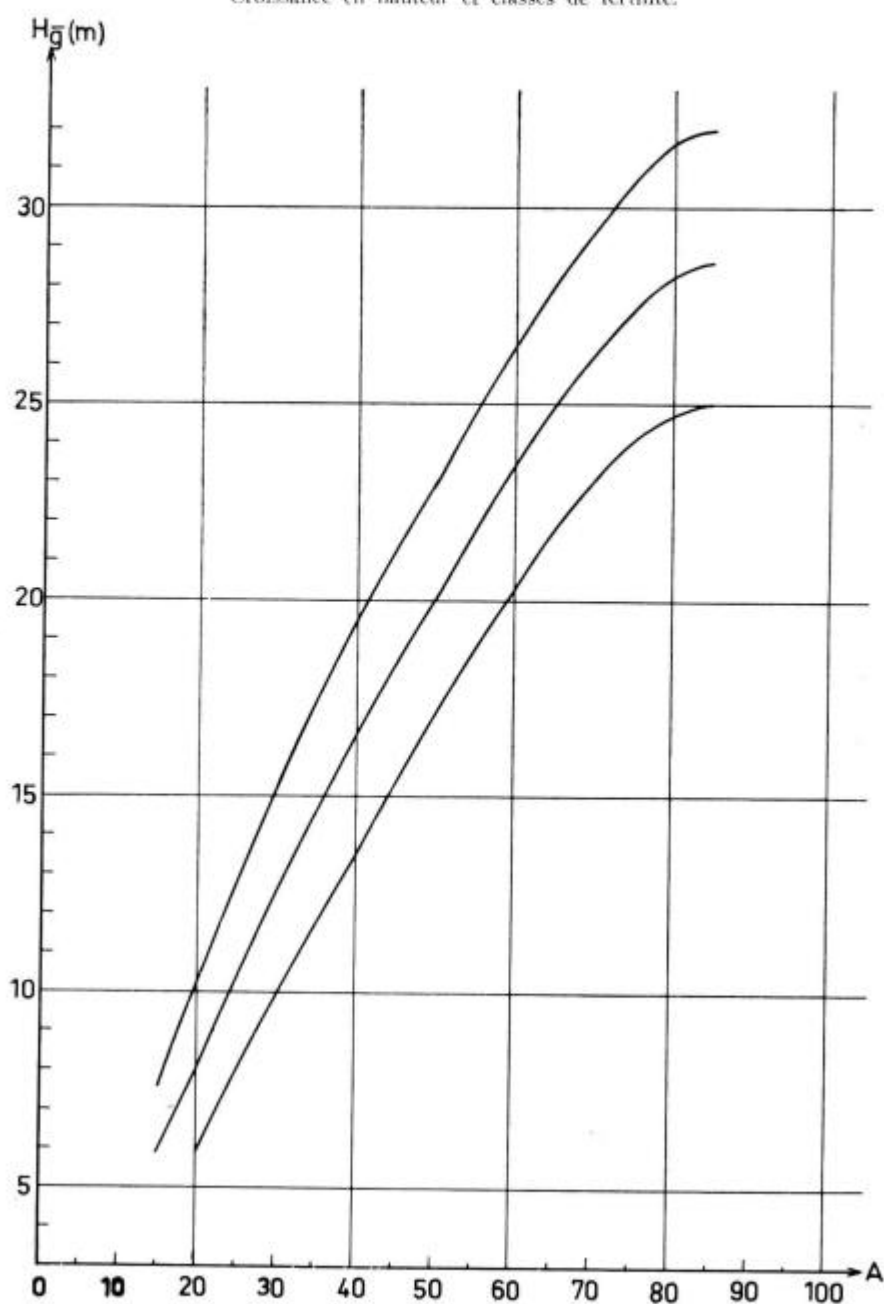


FIG. 5 b,  
*Pin laricio*

Croissance en hauteur et classes de fertilité.



IV.3 — Calcul d'une table de base.

Nous appellerons « table de base » une table exprimant pour chaque essence l'évolution du peuplement principal en fonction de deux variables.

— Une variable caractérisant « la fertilité » du milieu. Ici, la hauteur moyenne  $H_g$  ou la hauteur dominante  $H_o$  correspondante.

— Une variable caractérisant le traitement sylvicole. Ici, le nombre d'arbres à l'hectare  $N$ .

Les hauteurs sont données de mètre en mètre, les nombres d'arbres correspondent à des variations de  $\frac{10^4}{N}$  de 2 en 2.

Ces tables de base, calculées à partir des équations fondamentales (2) et (3) figurent dans les annexes Ia et Ib. On y trouve pour chaque valeur de  $N$  et de  $H_g$  les valeurs correspondantes :

- du volume de l'arbre moyen  $V_g$  (dm<sup>3</sup>)
- de la circonférence de l'arbre moyen  $C_g$  (cm)
- de la surface terrière à l'hectare  $G$  (m<sup>2</sup>/ha)
- du volume à l'hectare (m<sup>3</sup>/ha).

La disposition conventionnelle est la suivante :

$H_g$	$N$		$N_1$	
	$\frac{10^4}{N}$		$\frac{10^4}{N_1}$	
$H_{g1}$	. . . . .	$C_{g1}$	$G_1$	. . . . .
		$V_{g1}$	$V_1$	

A partir de ces tables, on peut calculer toute table de production correspondant à un traitement donné et à une fertilité donnée, à la seule condition de rester dans les limites de validité des relations fondamentales, c'est-à-dire dans les limites de l'échantillon des peuplements étudiés.

Les courbes des annexes IIa et IIb correspondent à ces tables de base pour le volume  $V$ .

V — Construction d'une table de type classique.

L'application de la méthode exposée au paragraphe III, en s'appuyant sur les résultats consignés dans les tables de base suppose d'abord le choix d'un régime d'éclaircie.

### V.1 — *Choix d'un régime d'éclaircie.*

Ce choix implique la définition des âges d'intervention et donc des rotations, de l'intensité d'intervention, et de la nature de l'éclaircie pratiquée. Le choix d'un régime d'éclaircie est un compromis entre les conditions naturelles (« tempérament » de l'essence, fertilité du sol, etc...) et les conditions économiques qui définissent le produit le plus rentable. Il n'y a donc pas un modèle unique de sylviculture, mais plusieurs types qui dépendent de l'objectif économique que se propose le sylviculteur. La conception même de ces tables de production permet à chacun de choisir la sylviculture qu'il veut pratiquer. Elle permet également des études théoriques d'ordre sylvicole ou économique dont un exemple sera donné plus loin. Nous nous limitons ici à la définition d'un régime d'éclaircie moyen.

#### V.1.1 — *Les rotations.*

Tant pour le Pin Sylvestre que pour le Pin Laricio de Corse, on constatera (Annexe IIIa et IIIb) que les rotations choisies dépendent de l'âge et de la fertilité. On interviendra plus fréquemment dans les jeunes peuplements que dans les vieux et plus souvent dans les bons peuplements que dans les moins bons.

Notons que les rotations de 5 ans, 8 ans, 10 ans, portées dans les tables n'ont rien d'impératif et qu'elles correspondent à une sylviculture relativement intensive que tous les propriétaires n'ont pas forcément les moyens de pratiquer.

#### V.1.2 — *L'intensité et la nature des éclaircies.*

La densité des peuplements a été précisée par le nombre d'arbres laissés sur pied lorsque le peuplement atteint une hauteur (moyenne ou dominante) déterminée. L'intensité de l'éclaircie est alors fixée par le nombre d'arbres qu'on enlève à ce moment-là.

Cette façon de chiffrer l'intensité d'une éclaircie est de plus en plus pratiquée [PARDÉ (28), HUMMEL et CHRISTIE (18) (20), BECKING (5), WILSON (48) (49)].

De plus, nous avons admis avec HUMMEL et CHRISTIE (19) que cette méthode permettait de chiffrer de façon valable l'intensité de l'éclaircie pour toutes les classes de fertilité. Ce principe, sans doute discutable, constitue déjà un progrès énorme sur les vieilles habitudes, faisant correspondre le nombre d'arbres  $N$  à laisser sur pied au seul âge  $A$  du peuplement, sans tenir compte de la fertilité.

Le régime d'éclaircie proposé s'appuie sur les résultats obtenus dans nos placettes permanentes et également sur la considération des peuplements observés en Sologne qui nous ont paru les meilleurs. On constatera d'ailleurs que les chiffres proposés, sans être

excessifs, correspondent à des éclaircies assez fortes. Ce type d'éclaircie, étudié notamment en forêt de Roumare, pour le pin sylvestre [LEMOINE (23)] semble en effet très supérieur aux éclaircies plus faibles. La même intensité d'éclaircie, ainsi définie, a été choisie pour les deux essences, ce qui entraîne, en moyenne, une éclaircie plus forte au même âge dans le pin laricio que dans le pin sylvestre.

La nature de l'éclaircie a été précisée par le rapport  $\frac{v_m}{V_g}$  précédemment défini. Ce rapport exprimé en % a également été fixé en fonction de  $H_g$  et de la même façon pour les deux essences et pour toutes les classes de fertilité.

En résumé, l'intensité et la nature des éclaircies sont bien définies par les colonnes (2) et (8) du tableau VII, valables pour les deux essences étudiées.

## V.2 — Construction des tables.

### V.2.1 — Table intermédiaire.

Le régime d'éclaircie fixé en fonction de  $H_g$ , on calculera d'abord une « table intermédiaire » ne faisant pas intervenir l'âge A et valable pour toutes les classes de fertilité\*.

On s'appuie pour cela sur les données de la table de base, en faisant les interpolations nécessaires. Nous décrivons ici l'établissement d'une telle table pour le Pin Sylvestre (voir tableau VII), le même procédé ayant été utilisé bien sûr pour le Pin Laricio de Corse.

Le choix des hauteurs et des nombres de tiges des colonnes (1) et (2) peut avantagement être fait de façon à correspondre à des données figurant dans la table de base, tout en respectant le régime d'éclaircie choisi. Il suffit pour cela de ne pas s'astreindre à choisir des hauteurs de référence espacées de façon régulière.

Les lignes repérées par le signe AV décrivent les peuplements *avant éclaircie*. Celles commençant par le signe AP décrivent les peuplements *après éclaircie*.

Les valeurs des colonnes (7), (8), (9), (10) sont déduites de celles des colonnes (1) et (2) et de la valeur choisie pour le rap-

port  $\frac{v_m}{V_g}$ . On aura ainsi, ligne 2 AP:

$$n = 2\,500 - 1\,667 = 833$$

$$v_m = 58,5 \times 0,50 = 29,25 \text{ dm}^3$$

$$v = 29,25 \times 833 \times 10^{-3} = 24 \text{ m}^3$$

\* C'est la « Master Table » de HUMMEL et CHRISTIE.

TABLEAU VII  
PINS SYLVESTRES - TABLE INTERMÉDIAIRE

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
$H_g$	N	$C_g$	$V_g$	G	V	n	$\frac{v_m}{V_g} g$	$v_m$	y	g	$C_g$	$\Sigma_v$	$\frac{\Sigma_v}{V} =$ $\Sigma_{v+V}$
A.V 8	5 000	27	21,8	29,09	109	-	-	-	-	-	-	-	-
<u>A.P</u> 9,2	2 500	33	37,2	21,90	93	2 500	30	6,54	16	7,19	19	16	109
A.V 11	2 500	38	58,5	29,08	146	-	-	-	-	-	-	-	-
<u>A.P</u> 11,4	1 667	42	73,2	23,55	122	833	50	29,25	24	5,53	29	40	162
A.V 13	1 667	47	101,3	28,82	169	-	-	-	-	-	-	-	-
<u>A.P</u> 13,1	1 250	50	115,2	24,55	144	417	59	59,77	25	4,27	36	65	209
A.V 16	1 250	58	189,1	33,26	236	-	-	-	-	-	-	-	-
<u>A.P</u> 15,8	833	63	219,7	26,15	183	417	67	126,7	53	7,11	46	118	301
A.V 20	833	75	386,6	36,89	322	-	-	-	-	-	-	-	-
<u>A.P</u> 19,4	556	81	440,6	29,20	245	277	72	278,4	77	7,69	59	195	440
A.V 23	556	91	656,5	36,88	365	-	-	-	-	-	-	-	-
<u>A.P</u> 22,3	417	98	712,2	31,68	297	139	74	485,8	68	5,20	69	263	560
A.V 26	417	108	1 026,3	38,74	428	-	-	-	-	-	-	-	-
<u>A.P</u> 25,0	333	114	1 087,1	34,24	362	84	76	780,0	66	4,50	82	329	691
A.V 29	333	125	1 514,8	41,29	504	-	-	-	-	-	-	-	-
<u>A.P</u> 28,2	294	128	1 540,8	38,42	453	43	78	181,5	51	2,87	92	380	833

Le peuplement sur pied, *après éclaircie*, est alors décrit à partir du peuplement avant éclaircie et à partir de l'éclaircie :

Ainsi, ligne 4 :

- Col. (1)  $122 = 146 - 24 = 122$
- Col. (2)  $N = 1\ 667$
- Col. (1)  $H_g = 11,4$  valeur correspondant à un volume  $V = 122$  si  $N = 1\ 667$ . Ces valeurs sont faciles à déduire des courbes des annexes IIa et IIb, qu'on peut d'ailleurs tracer à plus grande échelle à partir des tables de base.
- Col. (3) et (5). On les calcule à partir de la relation fondamentale  $C_g = g(H_g, N)$ .

La colonne (11), surface terrière des produits enlevés en éclaircie s'obtient par différence :

Ainsi ligne 2 :  $g = 29,09 - 21,90 = 7,19$ .

on en déduit immédiatement  $C_g$ , circonférence de l'arbre de surface terrière  $\frac{7,19}{2\ 500}$ .

Il faut noter ici que le volume de l'arbre moyen enlevé en éclaircie  $v_m$  ne correspond plus au volume de l'arbre de surface terrière moyenne des produits d'éclaircie, qui a pour circonférence  $c_g$ .

Ces deux valeurs caractérisent les produits d'éclaircie, mais ne correspondent pas exactement au même arbre.

Elles donnent cependant des ordres de grandeur utiles à connaître.

Les valeurs des colonnes (13) et (14) où sont portées les sommes cumulées des volumes enlevés en éclaircie (col. 13) et les productions totales depuis l'origine (col. 14) se déduisent des autres colonnes de façon évidente.

### V.2.2 — Tables de production en fonction des âges et des fertilités.

Les tables de production de type classique se déduisent de la table intermédiaire, pour chaque classe de fertilité, à l'aide de la relation (1) qui fait correspondre à tout âge  $A$ , une hauteur  $H_g$  et donc une hauteur  $H_o$ .

On les établit facilement par interpolation, en construisant par exemple les graphiques exprimant les caractéristiques de la table intermédiaire en fonction de  $H_g$ . Ces tables figurent dans les Annexes IIIa et IIIb.

On remarquera que les valeurs portées dans ces tables pour les peuplements sur pied, *après éclaircie*, sont légèrement différentes de celles qu'on obtiendrait directement à partir des relations fondamentales (2) et (3) appliquées aux valeurs de  $N$  et de  $H_z$ . Ces très légères différences proviennent évidemment du caractère approché de l'interpolation et des calculs effectués.

### V.3 — Valeur des résultats obtenus.

Les fortes productions obtenues surprendront certains. Elles correspondent cependant aux données recueillies et traitées de la façon la plus objective possible. L'ordre de grandeur de la production est certainement exact. La remarque suivante le confirme bien.

— Les placettes *permanentes* de Pin Laricio de Calabre (4<sup>e</sup> génération) des Barres, suivies depuis l'origine par la Station de Recherches des Eaux et Forêts, avaient, à 31 ans, les caractéristiques suivantes :

	$H_z$	Production annuelle moyenne
	—	—
B XI	14,55 m	12,2 m <sup>3</sup> /ha/an
B XVI	14,80 m	13,2 m <sup>3</sup> /ha/an

La hauteur étant un bon « indicateur » de production, on constatera que plusieurs placettes « solognotes » ont, au même âge, une hauteur comparable ( $N^{\circ}$  60, 108, 73, 8 par exemple).

Par contre, ces productions ne correspondent sans doute pas à celles observables sur des surfaces de plusieurs hectares, pour lesquelles un pourcentage non négligeable est à déduire du fait des trouées.

Les tables des annexes IIIa et IIIb ne doivent être, bien sûr, utilisées qu'avec précaution. Elles correspondent à des peuplements réguliers, pleins, sans trouée. Cet optimum est rarement atteint et il appartient à chacun d'estimer la correction qu'il doit apporter, en présence d'un peuplement déterminé, aux moyennes données par les tables [PARDÉ (28), DÉCOURT (12)].

De plus, il faut souligner qu'il s'agit, dans notre table, de volume bois-fort sur écorce. Le volume *utilisable* commercialement est certainement plus faible. Pin Sylvestre et Pin Laricio ont en effet une écorce très épaisse. Les annexes IVa et IVb permettront d'effectuer la correction nécessaire.

Il faut également déduire, sans doute, le volume invendable des premières éclaircies (disons des deux premières).

Signalons enfin que les différentes classes de fertilité ont définies par un plus ou moins grand nombre de placettes, comme le montre le tableau VIII.

La classe V des pins sylvestres très peu représentée, correspond à des peuplements tout à fait exceptionnels. Elle ne figure ici que pour mémoire.

TABLEAU VIII

		Nombre de placettes	Pourcentage
		—	—
Pin sylvestre	I .....	11	10
	II .....	37	35
	III .....	30	29
	IV .....	23	22
	V .....	4	4
Pin laricio	I .....	28	43
	II .....	30	46
	III .....	7	11

#### V.4 — Précision des tables.

Pour une hauteur donnée, on commet une erreur du même ordre de grandeur sur le volume du peuplement principal et sur la production totale (III.2.3.3). On peut donc, à l'aide des placettes temporaires elles-mêmes, étudier l'ordre de grandeur des erreurs commises, en comparant les valeurs des tables, aux valeurs réelles des placettes.

Les résultats, tirés de l'étude, d'environ un tiers des placettes, montrent :

- que la moyenne des erreurs relatives est nulle.
- que la répartition des erreurs autour de 0 est normale.
- que l'écart-type, qui dans ces conditions chiffre l'erreur-type est de 9 % pour les Pins Sylvestres et de 8,5 % pour les Pins Laricios.

Les estimations des tables sont donc exemptes d'erreurs systématiques sur la production, mais d'une précision assez faible. Dans l'étude d'un peuplement, on fera, en effet, deux fois sur trois, une erreur inférieure à 9 % pour les Pins Sylvestres et à 8,5 % pour les Pins Laricios et 9 fois sur 10 une erreur inférieure à 14,8 % pour les Pins Sylvestres et à 13,9 % pour les Pins Laricios.

L'erreur de prévision, elle, dépend de la valeur de la relation fondamentale (1), la seule qui fasse intervenir le temps. Elle ne peut être chiffrée. Notre dispositif de « placettes temporaires » ayant permis de parer au plus pressé, et de construire des tables provisoires, celles-ci devront être améliorées d'ici quelques années. A cet effet, les placettes temporaires seront remesurées tous les 5

ans, devenant ainsi de véritables *placettes permanentes simplifiées*. Notre connaissance des phénomènes s'accroîtra alors avec le nombre de mesures effectuées.

## VI — Equations fondamentales et études théoriques.

Outre la construction de tables de production, les relations fondamentales permettent un grand nombre d'études théoriques d'ordre sylvicole ou économique. Deux aperçus rapides seront donnés ici.

### VI.1 — Calcul d'un régime d'éclaircie.

Proposons-nous de produire des bois dont les accroissements annuels soient les plus réguliers possibles et voisins d'une constante  $e$ .

N'étant pas maître des variations climatiques, nous n'avons pas, bien sûr, la prétention de régulariser parfaitement l'accroissement en diamètre, mais seulement de rendre minimum les variations dues à l'action de l'homme, c'est-à-dire aux éclaircies.

Ce problème comporte deux aspects :

— Il s'agit de définir la meilleure intensité d'éclaircie, en indiquant par exemple la composition optimum du peuplement principal aux différents âges.

— Il faut aussi que la rotation soit suffisamment courte pour que la différence des croissances en diamètre juste après la dernière éclaircie et juste avant la suivante demeure inférieure à une valeur donnée.

#### VI.1.1 — Calcul de l'intensité des éclaircies.

On s'appuie sur la relation (2) qui est ici de la forme :

$$C = a + b H + \frac{c}{N}$$

Soit  $\lambda = 2 \pi e$ , la condition de régularité s'écrit, en fonction de l'âge  $A$  :

$$\lambda \cdot A = a + b H + \frac{c}{N}$$

Cette condition montre que le régime d'éclaircie *dépend de la fertilité* et qu'on ne peut, a priori, définir un régime unique pour toutes les classes de fertilité, comme nous l'avons fait en première approximation.

Si on fixe  $N$ ,  $A$  continue à augmenter, ainsi que  $H = f(A)$ ,  $\lambda$  n'est donc pas constant. Si la relation  $H = f(A)$  avait une forme

algébrique simple, il serait possible de calculer la condition maintenant l'expression  $\frac{d\lambda}{dA}$  inférieure ou égale à une valeur donnée.

En fait,  $H = f(A)$  n'est ici qu'un tableau de correspondance entre  $H$  et  $A$ , et il faut donc procéder par approximation.

C'est ce que nous avons fait, à titre d'exemple, pour les Pins Laricios, en classe de fertilité II. 3 ( $H_g = 21$  m à 50 ans).

On construit, point par point, les courbes d'équation :

$$\lambda = \frac{a}{A} + \frac{bH}{A} + \frac{c}{N.A}$$

où  $A$  est considéré comme un paramètre qu'on fait varier de 5 ans en 5 ans. Le faisceau de courbes  $\lambda(N, A)$  obtenu est représenté sur la figure 6.

Si on choisit  $e = 2,5$  mm par exemple,  $\lambda = 1,57$  cm, on constate que le régime d'éclaircie correspondant est le suivant :

$H_g$ (m)	A (années)	N(Tiges/ha)
13,5	30	1 850
15,5	35	1 400
17,4	40	1 110
19,3	45	890
21,0	50	740
22,8	55	640
24,4	60	530
26,0	65	470
27,3	70	415
28,5	75	355

On constatera également sur le graphique qu'une rotation de 5 ans ne fait pas varier  $e$  de plus de 4 %. Si on fixe  $N$ , on passe en effet, en 5 ans, d'une courbe à la courbe immédiatement inférieure sans que  $e$  ne descende à la valeur 2,40. Une rotation de 10 ans entraîne par contre une variation supérieure à 4 %.

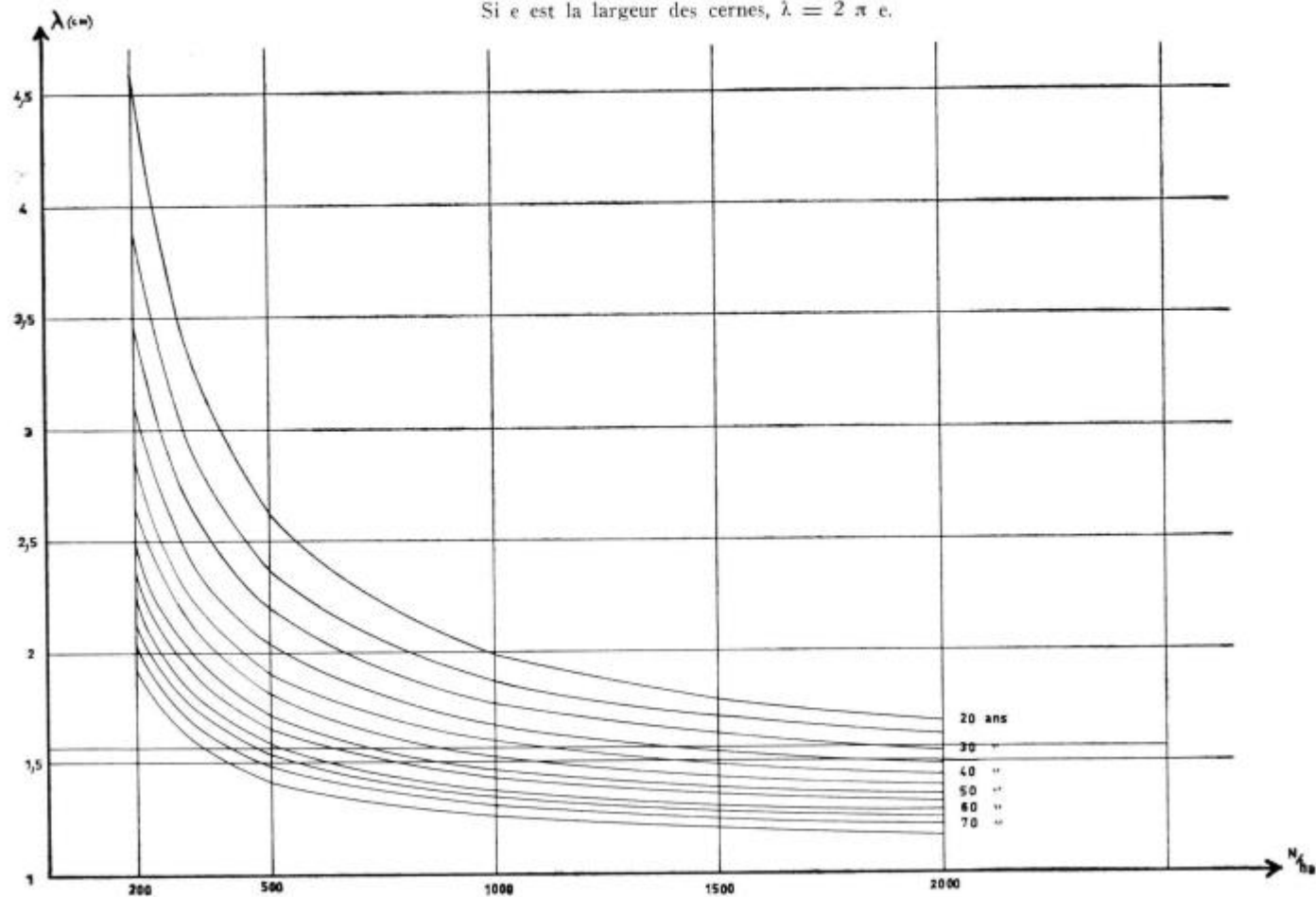
Un tel régime d'éclaircie est sensiblement moins fort que celui que nous avons adopté, surtout à partir de 40 ans. Il n'est pas certain qu'il lui soit supérieur sur le plan économique, car bien d'autres facteurs entrent en ligne de compte.

Ce type de recherches théoriques n'est pas l'objet de cette étude, mais nous avons simplement voulu signaler un aspect des possibilités ouvertes par cette méthode d'étude de la croissance et de la production.

FIG. 6. *Pin laricio* (Classe II,3;  $H_g = 21$  m à 50 ans)

Eclaircies calculées. Variation de la largeur des cernes en fonction de N et de A.

Si e est la largeur des cernes,  $\lambda = 2 \pi e$ .



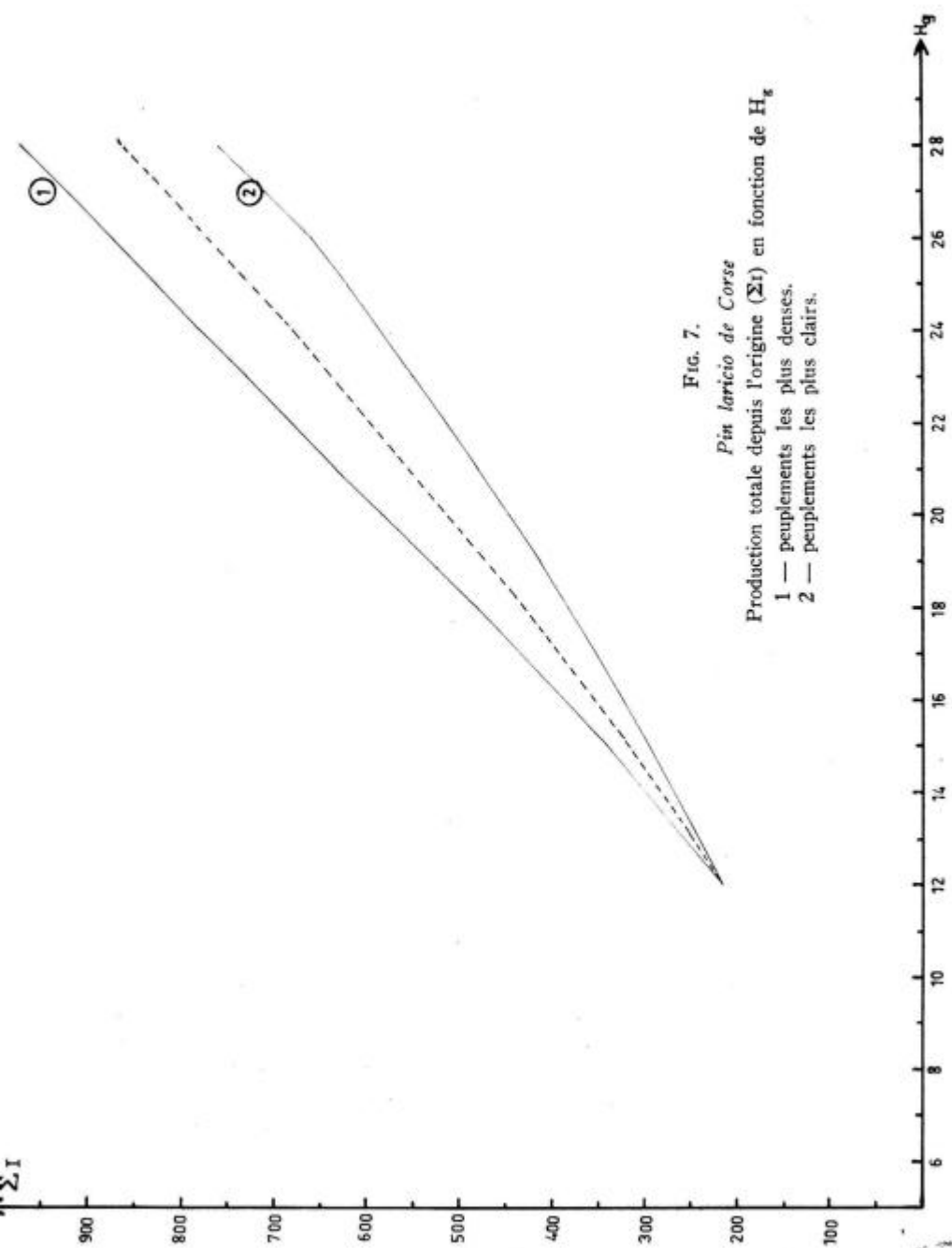


Fig. 7.  
*Pin laricio de Corse*  
 Production totale depuis l'origine ( $\Sigma I$ ) en fonction de  $H_g$   
 1 — peuplements les plus denses.  
 2 — peuplements les plus clairs.

### VI.2 — Influence du mode de traitement sur la production ligneuse.

Il s'agit de vérifier dans quelle mesure la loi de Eichhorn élargie (cf. : III.2.3.2) se trouve vérifiée.

La circonférence moyenne  $C_g$  et donc le volume  $V$  étant fonction de la seule hauteur  $H_g$ , indépendamment de l'âge  $\Lambda$ , la production totale à l'hectare est fonction de sa seule hauteur, quelle que soit la classe de fertilité, à condition que l'intensité des éclaircies, définie en fonction de cette hauteur, reste inchangée.

Si cette intensité varie, les courbes des annexes IIa et IIb ne se déduisant pas les unes des autres par translation parallèle à l'axe des  $V$ , il en résulte que les productions totales sont différentes.

Pour évaluer l'importance de cette différence, nous avons, dans le cas du Pin Laricio, reporté sur le graphique de la figure 8 les courbes donnant la production totale  $\Sigma T$  en fonction de  $H_g$  pour les régimes d'éclaircies qui, dans les limites des observations faites, laissent le maximum de bois sur pied (courbe supérieure) ou au contraire le minimum (courbe inférieure). La courbe moyenne figure un régime moyen.

On constate que le matériel sur pied semble jouer un rôle dans la production. Celle-ci est accrue si ce matériel producteur est plus important. On rejoint là les conclusions de certains auteurs [ROUSSEL (39), ANDERSON (1), ASSMANN (3)]. Par rapport à la courbe moyenne, l'écart reste inférieur à  $\pm 14\%$ . Dans le cas du Pin Sylvestre, cet écart atteint  $\pm 19\%$ .

En fait, la rigidité du modèle mathématique employé et sa relative imprécision ne permettent pas de conclure aussi catégoriquement. On peut sans doute admettre que la loi de Eichhorn est valable dans de larges limites, les peuplements maintenus denses ayant tendance, cependant, à produire une plus grande quantité de matière ligneuse.

### VII — Remarques sur l'utilisation pratique des tables.

L'étude d'un peuplement commencera par un inventaire des tiges, par classe de circonférence\*. Cet inventaire permet de connaître le nombre d'arbres à l'hectare  $N$ , et la surface terrière  $G$ . L'âge  $\Lambda$ , s'il n'est pas connu, se déterminera par sondage à la tarière.

Il faut alors, pour évaluer « la fertilité », mesurer la hauteur moyenne  $H_g$  ou la hauteur dominante  $H_o$ . Pour l'étude d'un peuplement isolé, la hauteur dominante est un caractère beaucoup plus stable que la hauteur moyenne. Cette dernière peut en effet subir,

\* ou de diamètre.

juste après le passage d'une éclaircie, des variations brusques, introduisant une erreur dans l'appréciation de la fertilité. Il vaut donc mieux « entrer » dans la table par la valeur de  $H_0$ .

Cette hauteur dominante ne peut être estimée par la mesure de quelques-uns des plus gros arbres. Il faut en fait déterminer la classe de circonférence correspondant à l'arbre de surface terrière moyenne des 100 plus gros arbres à l'hectare. Cette circonférence « dominante » se déduira facilement de l'inventaire.

On évaluera ensuite  $H_0$ , en faisant la moyenne arithmétique d'un certain nombre de mesures de hauteurs d'arbres de circonférence « dominante ».

On peut, de la même façon, d'ailleurs, évaluer la hauteur moyenne  $H_g$ , en mesurant des arbres de circonférence moyenne  $C_g$ .

La table de base (annexes Ia et Ib) permet alors de connaître le volume sur pied.

Si on choisit un modèle de sylviculture assez voisin de celui proposé, on pourra s'appuyer sur les prévisions portées dans les tables des annexes IIIa et IIIb.

On peut aussi se contruire une table, comme nous l'avons fait, en choisissant à priori un régime d'éclaircie.

### VIII — Conclusion.

Cette étude très imparfaite, ne constitue qu'une première approche des problèmes posés par la construction rapide de tables de production à partir d'un réseau de placettes mesurées une seule fois. Ces tables seront améliorées ultérieurement à partir d'observations renouvelées dans les mêmes placettes.

Le nombre des hypothèses arbitraires sur la forme des phénomènes de croissance a été réduit au minimum. L'usage de méthodes modernes de calcul a permis d'augmenter « l'objectivité » de ce travail, mais surtout de donner une forme plus analytique à l'étude de la production.

Cette méthode permet ainsi, outre la construction de tables de production de type classique, le calcul de tables de production à partir de régimes d'éclaircies fixés à priori. Elle ouvre donc la voie au calcul économique.

Elle pourra, sans doute, être améliorée dans l'avenir, en faisant intervenir un plus grand nombre de variables dans la description des peuplements et par une définition plus objective des classes de fertilité.



## ANNEXES



## ANNEXE IV — POURCENTAGE D'ECORCE

Age	(a) Pin Sylvestre	(b) Pin Laricio de Corse
20	-	21,0
30	21	19,0
40	17,5	18,5
50	14,5	18,0
60	13,2	17,5
70	12,0	17,3
80	11,5	17,0

## BIBLIOGRAPHIE

- (1) ANDERSON (J.-O.). — Produktion tabeller för norrländska tallplanteringar. Meddelanden från statens skogsforskningsinstitut, Band 51, Nr 3.
- (2) ARBONNIER (P.). — Construction, contrôle et possibilités d'utilisation de tarifs de cubage à double entrée. Application au Pin Laricio de Corse en Sologne. Annales des Sciences Forestières, 1965, Tome XXI, fasc. 4, p. 527-593.
- (3) ASSMANN (E.). — Zur Ertragstafelfrage. Forstwiss. Centralbl. N° 68, p. 414-430, 1949.
- (4) AYRAL (P.) et ABADIE (J.). — Méthode de calcul du volume des peuplements sur pied dans les places d'essai de sylviculture. A. E.N.E.F. Tome XV, 1956.
- (5) BECKING (J.-H.). — Einige Gesichtspunkte für die Durchförsung von vergleichenden Durchförsungsversuchen in gleichälterigen Beständen. C.R. 11<sup>e</sup> Congrès de l'I.U.F.R.O., p. 581.
- (6) BRUCE (O.) et SCHUMACHER (F.). — Forest Mensuration. 3<sup>e</sup> édition. Mc Graw-Hill Book Company, New-York, 1950.
- (7) CANTIANI (M.) et BERNETTI (G.). — Tavola alsometrica delle Abetine Coetanee della Toscana. Firenze, 1962.
- (8) CANTIANI (M.). — Tavola alsometrica delle Pinete di Laricio dell'Etna. L'Italia Forestale e Montana, juin 1964, n° 3, p. 98-115.
- (9) CARBONNIER (C.). — Ett Galltingsförsök i planterad Granskog. Statens Skogsforskningsinstitut uppsater, n° 55, 1957, p. 463-476.
- (10) CARBONNIER (C.). — Bestandsbehandlingsens inflytande pa produktionen. Rapporter och Uppsater. Stockholm, 1964, n° 5, p. 105-121.
- (11) DEBAZAC (E.-F.). — Manuel des Conifères. E.N.E.F., 1964.
- (12) DÉCOURT (N.). — Les tables de Production, leurs limites et leur utilité. R.F.F., août-septembre 1964, n° 8-9, p. 640.
- (13) DÉCOURT (N.). — Remarques sur la relation entre les circonférences à hauteur d'homme et les circonférences à hauteur de souches, dans les peuplements forestiers. R.F.F., mars 1964, n° 3, p. 216.
- (14) DELVAUX (J.). — Calcul des éclaircies numériques. Bulletin de la Société Royale Forestière de Belgique. 68<sup>e</sup> année, n° 10, octobre 1961, p. 453-472.
- (15) DUCHAUFOUR (Ph.). — Recherches écologiques sur la chénaie atlantique. A.-E.N.E.F., 1948, 332 pages.
- (16) ÉTTER (M.). — Über die Ertragsfähigkeit verschiedener Standortstypen. Mitteilanger des Schweizerischen Anstalt.. Tome XXVI, 1949, p. 91-152.
- (17) GODRON (M.) et coauteurs. — Notice détaillée de la carte phyto-écologique et de la carte d'occupation des terres de Sologne. C.N.R.S. - C.E.P.E., Montpellier, 1964.
- (18) HUMMEL (F.-C.) et CHRISTIE (J.-M.). — Method used to construct the revised Yield tables for conifers in Great Britain. Forest Research, 1957, Londres.
- (19) HUMMEL et CHRISTIE. — Revised Yield tables for conifers in Britain. Forest Record, n° 24, 1953.
- (20) HUMMEL (F.-C.). — The definition of Thinning Treatments. C.R. 11<sup>e</sup> Congrès de l'I.U.F.R.O., p. 583.
- (21) KRAMER (H.). — Der Einfluss von Grossklima und Standort auf die Entwicklung von Waldbeständen am Beispiel langfristig beobachteter versuchflächen von Douglasie, Fichte Buche und Eiche. Schriftenreihe der Fakultät. Göttingen. Band 31/32, 1963.

- (22) KRAMER (H.). — Die Werwendung der Oberhöhe in der Forsteinrichtung. *Allg. Forst und Jagdzeitung*, 1961, n° 5.
- (23) LEMOINE (B.). — Sylviculture, Production et rentabilité du Pin Sylvestre dans les placettes d'expérience de la forêt de Roumare (Annales de l'E.N.E.F., Tome XX, fascicule 2, 1963, p. 235-283).
- (24) MEYER (H.-A.). — *Forest Mensuration* 1953. Penns Valley Publishers.
- (25) MOOSMAYER (H.-U.). — Zur ertragskundlichen Auswertung der Standortsgliederung im Ostteil der Schwäbischen Alb., 1957.
- (26) PARDÉ (J.). — Intensité des éclaircies et production ligneuse. R.F.F., décembre 1964, n° 12, p. 936-945.
- (27) PARDÉ (J.). — Productivité des plantations résineuses en Bretagne. R.F.F., mai 1962, n° 5, p. 402-416.
- (28) PARDÉ (J.). — Dendrométrie (Edition de l'E.N.E.F., 1961, 350 p.).
- (29) PARDÉ (J.). — Contribution à l'étude de la productivité des reboisements solognots. R.F.F., décembre 1959, n° 12, p. 854.
- (30) PARDÉ (J.). — Une notion nouvelle et fructueuse: l'indice C.V.P. R.F.F., mars 1958, p. 195-201.
- (31) PARDÉ (J.). — Retour sur l'indice C.V.P. de Paterson. R.F.F., janvier 1959, p. 50.
- (32) PARDÉ (J.). — Indice climatique et production ligneuse. Communication à l'Académie d'Agriculture de France, avril 1964.
- (33) PARDÉ (J.) et TURPIN (J.). — Caractéristiques et production des peuplements de Pins Laricios du domaine des Barres. R.F.F., mai 1959, n° 5, p. 376.
- (34) POURTET (J.) et TURPIN (J.). — Quelques renseignements forestiers de l'Arboretum des Barres. R.F.F., 1955, p. 291 et 292.
- (35) POURTET (J.). — Les repeuplements artificiels, 3<sup>e</sup> édition. E.N.E.F., 1964, 278 p.
- (36) PRODAN (M.). — *Forstliche Biometrie*. BLV Verlagsgesellschaft. München, Bonn, Wien, 1961, 432 p.
- (37) RÄTZEL (K.). — Die Oberhöhe als Hilfsmittel für die Forsteinrichtung. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung*, 1964, n° 3.
- (38) RIVÉ (A.). — La Sologne. Son reboisement. R.E.F., 1940, p. 289-306 et 347-358.
- (39) ROUSSEL (L.). — Matériel et production. R.F.F., 1955, n° 2, p. 121-129.
- (40) SCHOBER (R.). — Die Ertragsleistung der Nadelhölzer in Grossbritannien und Deutschland. *Forstwiss. Centralblatt*, 1955, n° 1-2, p. 36-59.
- SCHOBER (R.) et WIEDEMANN (E.). — *Ertragstabellen wichtiger Holzarten*. Hannover, 1957.
- (42) SNEDECOR (G.-W.). — *Statistical Methods*. 5<sup>e</sup> édition. Iowa State University Press, 1956, p. 413.
- (43) TOMASSONE (R.). — Méthode graphique de calculs de la moyenne et de l'écart-type d'une distribution normale. Test de normalité. R.F.F., 1963, n° 10, p. 791-797.
- (44) TOMASSONE (R.). — L'analyse de covariance. Théorie et application dans l'expérimentation forestière. *Annales des Sciences Forestières* 1964, Tome XXI, fasc. 2.
- (45) VESSEREAU (A.). — *Méthodes statistiques en biologie et en agronomie*. Baillière, Paris, 1960, p. 491.
- (46) VINEY (R.). — Multiplicité des facteurs de production. R.F.F., 1955, n° 2, p. 130-137.
- (47) WIEDEMANN (E.). — *Ertragskundliche und Waldbauliche Grundlagen der Forstwirtschaft*. Francfort, 1950-1951, 546 pages.
- (48) WILSON (F.-G.). — Evaluation of Three thinnings at Star Lake. *Forest Science*, 1955, vol. 1, n° 3, p. 227-231.
- (49) WILSON (F.-G.). — Numerical expression of stocking in terms of height. *Journal of Forestry*, 1946, n° 44, 758-760.

SENS DES SYMBOLES UTILISÉS

Symbole Symbol Symbol	DEFINITION	BEGRIFF	DEFINITION
—	—	—	—
A	Age (Années)	Alter (Jahre)	Age (years)
N	Nombre de tiges à l'hectare	Stammzahl pro ha	Number of stems per ha
$C_g$	Circonférence à 1,30 m de l'arbre de surface terrière moyenne (cm)	Umfang in 1,3 m. Höhe des Grundflächenmittelstammes (cm)	Circumference at 1,3 m corresponding to mean basal area of stand (cm)
$H_g$	Hauteur de l'arbre de surface terrière moyenne (m)	Höhe des Grundflächenmittelstammes (m)	Height corresponding to mean basal area (m)
$V_g$	Volume de l'arbre de surface terrière moyenne (dm <sup>3</sup> )	Derbholzmasse des Grundflächenmittelstammes (dm <sup>3</sup> )	Volume of tree corresponding to mean basal area (dm <sup>3</sup> )
$H_o$	Hauteur de l'arbre de surface terrière moyenne des 100 plus gros arbres à l'hectare (m)	Höhe des Grundflächenmittelstammes der 100 stärksten Bäume/ha (m)	Height corresponding to mean basal area of the 100 largest trees/ha (m)
$H'_o$	Hauteur de l'arbre de surface terrière moyenne des 20 % plus gros arbres à l'hectare (m)	Höhe des Grundflächenmittelstammes 20 % der stärksten Bäume (m)	Height corresponding to mean basal area of the 20 % largest tree (m)
I	Indice de fertilité. Hauteur $H_g$ atteinte à 50 ans (m)	Höhenbonität. Höhe $H_g$ im A = 50 (m)	Site index. Height $H_g$ when A = 50 (m)
G	Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha) du peuplement	Grundfläche (m <sup>2</sup> /ha) des Bestandes	Basal area of stand (m <sup>2</sup> /ha)
V	Volume du peuplement (m <sup>3</sup> /ha)	Derbholzmasse des Bestandes (m <sup>3</sup> /ha)	Stand volume (m <sup>3</sup> /ha)

Symbole Symbol Symbol	DEFINITION	BEGRIFF	DEFINITION
—	—	—	—
$c_k$	Circonférence de l'arbre de surface terrière moyenne des produits d'éclaircie (cm)	Umfang des Grundflächenmittelstammes des ausscheidenden Bestandes (cm)	Circumference corresponding to mean basal area of thinning products (cm)
$v_m$	Volume moyen des produits d'éclaircie (dm <sup>3</sup> )	Derbholzmasse des Mittelstammes des ausscheidenden Bestandes (dm <sup>3</sup> )	Mean volume of thinning products (dm <sup>3</sup> )
$v$	Volume de l'éclaircie (m <sup>3</sup> /ha)	Derbholzmasse des ausscheidenden Bestandes (m <sup>3</sup> /ha)	Volume of the thinning (m <sup>3</sup> /ha)
$g$	Surface terrière de l'éclaircie (m <sup>2</sup> /ha)	Kreisfläche des ausscheidenden Bestandes (m <sup>2</sup> /ha)	Basal area of the thinning (m <sup>2</sup> /ha)
$n$	Nombre de tiges enlevées en éclaircie	Anzahl der Stämme des ausscheidenden Bestandes	Number of stems of the thinning per ha.
$\Sigma v$	Somme cumulée des volumes enlevés en éclaircie (m <sup>3</sup> /ha)	Summe der Vorerträge an Derbholz (m <sup>3</sup> /ha)	Total volume of the thinning products (m <sup>3</sup> /ha)
$\Sigma I$	Volume total produit depuis l'origine (m <sup>3</sup> /ha)	Gesamtleistung an Derbholzmasse (m <sup>3</sup> /ha)	Total crop Yield to date (m <sup>3</sup> /ha)
$I_c$	Accroissement courant annuel en volume (m <sup>3</sup> /ha/an)	Laufender jährlicher Zuwachs (m <sup>3</sup> /ha/jahre)	Current annual volume increment (m <sup>3</sup> /ha/year)
$I_m$	Accroissement moyen annuel en volume depuis l'origine (m <sup>3</sup> /ha/an)	Alters-Durchschnittszuwachs (m <sup>3</sup> /ha/jahre)	Mean annual volume increment (m <sup>3</sup> /ha/year)

## RÉSUMÉ

---

Ces tables de production concernent des peuplements purs et équiennes. Elles ont été calculées presque uniquement à partir de placettes temporaires.

La méthode employée repose sur trois relations fondamentales faisant intervenir l'âge, la hauteur moyenne, la densité, la circonférence moyenne et le volume. Hauteur moyenne et hauteur dominante sont, en outre, reliées par une relation supplémentaire. Un large usage a été fait des méthodes et des moyens de calcul modernes.

Établie à partir des relations fondamentales, une table de base permet de connaître l'évolution du peuplement principal en fonction de sa hauteur et de sa densité. En s'appuyant sur cette table, on peut calculer des tables de production classiques, en choisissant, à priori, et dans un éventail assez large, le régime d'éclaircie qu'on désire adopter.

De plus, les équations fondamentales permettent l'étude théorique d'un certain nombre de problèmes: calcul d'éclaircies répondant à des critères économiques ou sylvicoles définis à l'avance, ou encore influence de l'intensité des éclaircies sur la production totale.

Ces tables sont provisoires. Elles seront améliorées sur la base de nouvelles mesures faites dans le réseau des placettes temporaires au cours des années à venir.

---

## SUMMARY

---

These yield-tables concern even-aged pure stands. They have been almost entirely calculated from temporary subplots.

The method is based on three fundamental relations which refer to age, mean height, density, mean circumference and volume. A further relation binds mean height and dominant height together. Great use has been made of modern calculation methods and means.

Constructed from the fundamental relations a transitory table enables to determine the evolution of the main stands in function of height and density. With the help of this table, it is possible to calculate usual yield-tables when the wanted thinning regime has been prior chosen from a wide range.

Besides the fundamental relations make possible a theoretical study of some problems, such as the estimation of thinnings according to already defined economic or sylvical criteria, or the effects of the thinning-grade on the whole production.

These tables are not definitive. During the next years they will be improved on the ground of new measures made in network of temporary subplots.

---

## ZUSAMMENFASSUNG

---

Diese Ertragstafeln beziehen sich auf geichaltrige Reinbestände. Sie wurden fast ausschliesslich nach vorübergehenden Versuchsflächen berechnet.

Drei Grundbeziehungen, die zwischen dem Alter, der Mittelhöhe, der Dichte, dem Mittelumfang und der Derbholzmasse bestehen, liegen dem angewandten Verfahren zugrunde. Dazu bilden Mittel- und Oberhöhe eine weitere Beziehung zusammen. Die heutigen Rechnungsmittel und- methoden wurden dabei weitgehend gebraucht.

Die Übergangstafel wird mit Hilfe der Grundbeziehungen aufgestellt, und dadurch lässt sich die Entwicklung des Hauptbestandes in Funktion der Höhe und der Dichte bestimmen. An Hand dieser Tafel ist es möglich, die gewöhnlichen Ertragstafeln zu errechnen, indem man von vornherein und aus einer ziemlich reichen Skala die erwünschte Durchforstungsstärke auswählt.

Ausserdem ermöglichen die Grundbeziehungen die theoretische Untersuchung einiger Probleme, nämlich die Abschätzung der Durchforstung nach wirtschaftlichen oder waldbaulichen vorher bestimmten Kriterien, oder die Auswirkung der Durchforstungsstärke auf den Gesamtertrag.

Die Bearbeitung dieser Tafeln ist nicht endgültig. Zu deren Verbesserung sollen in der kommenden Jahren weitere Messungen in dem Netz der vorübergehenden Versuchsflächen aufgenommen werden.

---